



Fernando Portugal Maia Saliba

**Avaliação Hidrogeotécnica da Fundação da Pilha de Estéril
nº 5 da Mina do Andrade – Bela Vista de Minas
(Minas Gerais)**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientadores: Eurípedes do Amaral Vargas Jr.
Tácio Mauro Pereira de Campos

Rio de Janeiro, março de 2007



Fernando Portugal Maia Saliba

**Avaliação Hidrogeotécnica da Fundação da Pilha de Estéril
nº 5 da Mina do Andrade – Bela Vista de Minas
(Minas Gerais)**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Eurípedes do Amaral Vargas Jr.
Orientador
PUC-Rio

Tácio Mauro Pereira de Campos
PUC-Rio

José Tavares Araruna Jr.
PUC-Rio

Franklin dos Santos Antunes
PUC-Rio

José Eugênio Leal
Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 19 de março de 2007.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Fernando Portugal Maia Saliba

Graduou-se em Engenharia Civil, pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, em 2000. Durante a graduação e até o ano de 2005 atuou na área de geotecnia e meio ambiente, participando principalmente de projetos relacionados à mineração.

Ficha Catalográfica

Saliba, Fernando Portugal Maia.

Avaliação hidrogeotécnica da Fundação da Pilha de Estéril nº 5 da Mina do Andrade – Bela Vista de Minas (Minas Gerais) / Fernando Portugal Maia Saliba ; orientadores: Eurípedes do Amaral Vargas Jr. , Tácio Mauro Pereira de Campos. – 2007.

224f.: il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Pilha de estéril. 3. Hidrogeologia. 4. Análise numérica. 5. Fluxo subterrâneo. I. Vargas Jr., Eurípedes do Amaral. II. Campos, Tácio Mauro Pereira de. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

Aos meus familiares e parentes, especialmente aos meus pais, Aluízio e Ana Maria, por todo amor, carinho e confiança.

Ao meu melhor amigo e irmão, Aloysio (Lu), por estar ao meu lado o tempo todo e me incentivar na conclusão deste trabalho.

À querida Mari, pelo grande amor, compreensão e apoio durante todos os anos de convivência.

Ao Prof. Eurípedes do Amaral Vargas Jr., pela sua orientação, credibilidade e amizade durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Aos Professores Tácio Pereira de Campos e Franklin dos Santos Antunes pelas sugestões e comentários imprescindíveis para a finalização deste trabalho.

Aos amigos da VOGBR, que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, em especial ao Ângelo Zenóbio, Jorge e Rodrigo Cristiano.

Aos colegas de turma, Antônio Pellissari, Guilherme Barros e Viviana Torralba pelo companheirismo, carinho e convivência.

A todos os demais colegas da PUC-Rio pela convivência e troca de informações úteis para minha pesquisa e formação.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil e do Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio.

À CVRD (Gerência de Geotecnia) pelo apoio financeiro nas atividades de campo.

Ao Walter de Brito e sua equipe (Serviço de Tecnologia Mineral do CDTN) pelas análises mineralógicas realizadas.

À PUC-Rio e ao CNPq pelo apoio financeiro à pesquisa.

Resumo

Saliba, Fernando Portugal Maia; Vargas Junior, Eurípedes do Amaral; Campos, Tácio Mauro Pereira de. **Avaliação Hidrogeotécnica da Fundação da Pilha de Estéril nº 5 da Mina do Andrade - Bela Vista de Minas (Minas Gerais)**. Rio de Janeiro, 2007. 224p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O presente trabalho concentra-se na caracterização geológica-geotécnica e hidrogeotécnica de uma pilha de estéril temporária, proveniente de rocha itabirítica, e de seu entorno, a fim de apresentar as possíveis condicionantes geradoras das elevadas pressões hidrostáticas medidas na fundação desta pilha. Com base nesta caracterização, criou-se um modelo hidrogeológico das condições de escoamento da água subterrânea pelo material estéril e pelas regiões adjacentes desta pilha, utilizando os programas computacionais Slide® e VisualModflow®. Em ambos os resultados apresentados pelos modelos computacionais, observou-se que a sub-pressão existente na fundação da pilha de estéril está diretamente associada a dois fatores: (i) aos condicionantes geológicos do local e (ii) ao índice pluviométrico do ano de 2005.

Palavras-chave

Pilha de Estéril; Hidrogeologia; Análise Numérica; Fluxo Subterrâneo.

Abstract

Saliba, Fernando Portugal Maia; Vargas Junior, Eurípedes do Amaral (Advisor); Campos, Tácio Mauro Pereira de (Co-advisor). **Hydrogeotechnical Evaluation of the Foundation of #5 Waste Pile at Andrade's Mine - Bela Vista de Minas (Minas Gerais)**. Rio de Janeiro, 2007. 224p. MSc. Thesis - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This study focuses on the geological, geotechnical and hydrogeotechnical characterization of a temporary waste pile, made of itabirite rock, and of its surrounding area, and presents possible causes for the high pore pressures measured at the waste pile foundations. Based on this characterization, a computer models of this scenario were developed using both Slide® and VisualModFlow® softwares. In both cases, results indicate that the high pore pressures are directly related to two main causes: (1) to local geological conditions and boundaries and (2) to high rainfall rate recorded in 2005.

Keywords

Waste Pile; Hydrogeology; Numerical Analyse; Groundwater.

SUMÁRIO

1	Introdução	16
2	Considerações sobre Hidrogeotecnia de Pilhas de Estéril	20
2.1.	Características Hidráulicas	20
2.2.	Instabilidade Geotécnica Relacionadas às Condições de Fluxo	23
2.3.	Vulnerabilidade à Contaminação	25
3	Localização e Dados Disponíveis da Área em Estudo	27
3.1.	Localização e Histórico da Pilha	27
3.2.	Geologia	30
3.2.1.	Geologia Regional	30
3.2.2.	Litoestratigrafia	31
3.2.3.	Arcabouço estrutural	32
3.3.	Dados Climatológicos	35
3.4.	Investigações Hidrogeológico-Geotécnicas Executadas	38
3.4.1.	Sondagens Rotativas, Exploratórias e à Percussão	39
3.4.2.	Piezômetros e Indicadores de Nível de Água	39
3.4.3.	Poços de Investigação	42
3.4.4.	Ensaio de Laboratório	42
4	Condições Geométricas e Caracterização Geológico-Geotécnica e Hidrogeotécnica da PDE-05 e Entornos	44
4.1.	Configuração Geométrica da Pilha	44
4.2.	Caracterização Geológico-Geotécnica da Área da PDE-05 e Adjacências	45
4.3.	Ensaio de Campo e Laboratório Complementares	54
4.3.1.	Ensaio de Campo	55
4.3.2.	Ensaio de Laboratório	63
5	Modelo Conceitual de Fluxo Subterrâneo	70

5.1. Unidades Hidroestratigráficas	70
5.2. Recarga	74
5.3. Condições Atuais de Fluxo	78
6 Modelagem Numérica do Fluxo na Área de Estudo	81
6.1. Modelagem Computacional 2 D	82
6.1.1. Parâmetros de Entrada do Modelo 2 D	83
6.1.2. Condições de Contorno e Definição da Malha 2 D	84
6.1.3. Calibração do Modelo 2 D	85
6.1.4. Resultados Obtidos – Modelo 2 D	86
6.2. Modelagem Computacional 3 D	89
6.2.1. Configurações do Modelo 3 D	89
6.2.2. Calibração do Modelo 3 D	93
6.2.3. Resultados Obtidos no Modelo 3 D	95
6.3. Comparação entre os Resultados Obtidos nos Modelos Numéricos	97
7 Conclusões e Considerações Finais	99
8 Referências Bibliográficas	102
Apêndice A – Seção Geológica-Geotécnica Vertical da Área em Estudo	109
Apêndice B – Gráficos de Variação Temporal – Monitoramento Hidrogeotécnico dos PZs e INAs	111
Apêndice C – Resultados dos Ensaios de Campo e Laboratório	115
C.1. Ensaios com Permeâmetro de Guelph	115
C.2. Curvas Características do Estéril e Alteração de Rocha	135
C.3. Resultados dos Ensaios de Permeabilidade	136
C.4. Resultados dos Ensaios de Laboratório	143
C.5. Resultados da Difractometria de Raios-X	151
Anexo A – Dados de Precipitação Diária das Estações Mina do Andrade e Usina Peti	156

Anexo B – Perfis Geológicos das Sondagens Executadas na Mina do Andrade Mencionadas neste Trabalho	192
B.1. Sondagens Exploratórias	192
B.2. Sondagens Rotativas	206

Lista de figuras

- Figura 1 – Material estéril depositado na PDE-05, localizada na mina do Andrade, indicando grande heterogeneidade. Segregação do material disposto devido à conformação da pilha, apresentando blocos maiores na base do talude e fragmentos menores na crista e demais regiões. 23
- Figura 2 – Modos de ruptura em pilhas de estéril, onde a água é o principal condicionante (adaptado de Caldwell e Moss, 1981). 24
- Figura 3 – Localização da área em estudo. 28
- Figura 4 - Vista lateral do 3º e 4º banco da PDE-05 apresentando material depositado recentemente. 29
- Figura 5 - Mapa geológico local da mina do Andrade (PROMINAS,2005) e locação das investigações geotécnicas utilizadas no estudo. 34
- Figura 6 – Evaporação total mensal média (ponderação estação Belo Horizonte e Caratinga) e precipitações mensais médias (Estação Mina do Andrade).37
- Figura 7 – Variação temporal dos totais anuais médios de precipitação obtidos na estação Mina do Andrade (1979-2006). 38
- Figura 8 - Curvas granulométricas coletadas nas áreas adjacentes às pilhas de estéril (PDE-01, PDE-02 e PDE-05) da mina do Andrade (VOGBR, 2006).43
- Figura 9 – Vista aérea da região em estudo (imagem Ikonos), identificando alguns aspectos importantes registrados durante a caracterização da área. 47
- Figura 10 – Vista a partir do topo da PDE-05 para região de montante. No canto esquerdo da foto, grande afloramento de itabirito e presença vegetação rasteira. No lado direito da foto, vista do paiol de explosivos nº2 e vegetação de mata densa sobre o solo residual de xisto. 49
- Figura 11 – Vista a partir do paiol de explosivos nº1 da PDE-05 para região de montante, mostrando os dobramentos (vergência W-E) presentes nos itabiritos. 50
- Figura 12 – Testemunho da sondagem rotativa NA-ANPE2-03 apresentando o início do gnaiss pouco fraturado a são a partir dos 10,0 m. 53
- Figura 13 – Execução do ensaio EN-6a utilizando o permeâmetro de Guelph, realizado no 1º banco. Ao fundo, vista do 2º, 3º e 4º bancos da pilha de estéril PDE-05. 57

- Figura 14 – Vista do ensaio utilizando simultaneamente o tensiômetro e o permeâmetro de Guelph, realizado no 3º banco da PDE-05, conforme procedimento proposto por Veloso (2000). No detalhe, tensiômetro cravado no estéril de itabirito. 61
- Figura 15 – Vista do bloco AM-03 de amostra indeformada extraída da ombreira esquerda da PDE-05. Material classificado como solo residual com alterações de rocha (quartzo-feldspato-xisto). 64
- Figura 16 - Curvas granulométricas das amostras de estéril de itabirito (AM-01, AM-02) coletadas na superfície da PDE-05 e de solo residual com porções de alteração de rocha quartzo-feldspato-xisto (AM-03) coletadas na ombreira esquerda da pilha. 66
- Figura 17 - Curvas de adensamento do par de ensaios na condição inundada extraída da amostra AM-03. Material ensaiado: solo residual de xisto com porções de alteração de rocha quartzo-feldspato-xisto (ombreira esquerda da PDDE-05). 67
- Figura 18 – Esquema representativo do modelo hidrogeológico conceitual. 80
- Figura 19 – Malha triangular de elementos finitos utilizada – detalhe focalizando a área da PDE-05. 85
- Figura 20 – Resultado da calibração do modelo hidrogeológico numérico bidimensional. 86
- Figura 21 – Resultado do modelo hidrogeológico numérico bidimensional. 88
- Figura 22 - Domínio do modelo hidrogeológico, identificação das condições de contorno adotadas e malha de cálculo (método das diferenças finitas). 91
- Figura 23 – Comparações entre as cargas hidráulicas medidas e calculadas pelo modelo numérico tridimensional. 94
- Figura 24 - Distribuição potenciométrica da superfície freática simulada pelo modelo hidrogeológico numérico 3 D calibrado. 96

Lista de tabelas

Tabela 1 – Resultado dos ensaios utilizando o permeâmetro de Guelph na região da PDE-05 e entorno.	57
Tabela 2 – Parâmetros dos materiais não saturados estimados a partir da retro-análise.	60
Tabela 3 – Valores medidos para o cálculo da condutividade hidráulica realizados nos piezômetros existente nas pilhas de estéril da mina do Andrade.	62
Tabela 4 – Fatores adotados para cálculo do deflúvio para a área em estudo a partir dos fatores sugeridos por Greaner (1997) em função dos valores de precipitação mensal.	75
Tabela 5 – Balanço hídrico simplificado para área da mina do Andrade.	77
Tabela 6 – Valores das unidades hidroestratigráficas utilizados no modelo bidimensional	83
Tabela 7 – Valores das unidades hidroestratigráficas utilizados no modelo regional	92
Tabela 8 – Balanço de água do modelo numérico – volumes totais de entrada e saída.	93

Lista de quadros

Quadro 1 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (Endo, 1997).	31
Quadro 2 – Instrumentos de monitoramento hidrogeotécnico instalados nas pilhas de estéril PDE-01, PDE-02 e PDE-05.	40
Quadro 3 – Informações extraídas das descrições geológicas dos testemunhos das sondagens exploratórias na área de montante.	50
Quadro 4 – Informações extraídas das descrições geológicas dos testemunhos das sondagens exploratórias na área de jusante.	52
Quadro 5 – Características gerais de cada tipo de solo encontrado na PDE-05 e entornos.	53
Quadro 6 – Sumário das investigações de campo e laboratório complementares.	55
Quadro 7 – Resultado da difratometria de raios-X nas amostras da PDE-05.	69

Lista de símbolos e abreviações

CP	Corpo de prova [-]
Cv	Coeficiente de adensamento do solo [$L^2 T^{-1}$]
D	Deflúvio superficial médio [L]
E	Direção leste [-]
El.	Elevação topográfica [L]
Ev	Evaporação [L]
Evap	Evapotranspiração real média [L]
h	Carga hidráulica [L];
K_{sat}	Condutividade hidráulica saturada de campo [LT^{-1}]
K_x , K_y e K_z	Componentes do tensor de condutividade hidráulica nas direções x, y e z [LT^{-1}]
INA	Indicador de nível de água [-]
N	Direção norte [-]
n	Parâmetro empírico do modelo de Van Genuchten (1980) [-]
NE	Direção nordeste [-]
NW	Direção noroeste [-]
P	Precipitação média [L]
PDE	Pilha de estéril [-]
PZ	Piezômetro [-]
Q	Vazão [$L^3 T^{-1}$]
t	Tempo [T]
R	Recarga média [L]
R^*	Fonte ou sumidouro de água [T^{-1}]
SE	Direção sudeste [-]
S_s	Armazenamento específico do meio poroso [LT^{-1}]
UTM	Sistema referencial de localização terrestre [L]
V	Volume [L^3]
W	Direção oeste [-]
α	Parâmetro empírico do modelo de Van Genuchten (1980) [-]
ΔV	Variação média mensal do armazenamento de água no solo [L]
θ_r	Umidade volumétrica residual do solo [-]
θ_s	Umidade volumétrica saturada do solo [-]

“Como descrever a sensação de completa exaustão, do medo controlado, do risco, da dúvida. Do prazer físico, da beleza ou das proporções? É como querer explicar uma paixão ou um orgasmo. Não é azul, nem azedo, nem líquido. Com um pouco de ousadia na cabeça e muita disciplina, o homem pode se transformar num animal de olhar selvagem, obsessivo, que acaricia o diabo e desafia suas forças. E quando isso lhe acontece, só ele pode saber o quanto lhe custou chegar lá.”

Luiz Makoto Ishibe (1997)

1 Introdução

Desde os tempos do Brasil Colônia a extração de ouro e diamantes proporcionou um acúmulo de riqueza sem precedentes à Coroa Portuguesa. As primeiras atividades minerárias no Brasil datam do século XVII, período em que se inicia o ciclo do ouro. O surgimento deste mineral ocorreu em quase toda colônia, entretanto nenhum sítio foi tão farto como na região que ficou conhecida, apropriadamente, por Minas Gerais. Aglomerando-se às margens dos córregos, os mineradores extraíam o farto ouro aluvial, depositado nos leitos dos rios.

A exemplo do que ocorreu em toda a Colônia, coube aos escravos a mão-de-obra nas atividades extrativistas. A então exploração mineral se dava de forma rudimentar e precária. A tecnologia utilizada na prospecção e concentração do ouro não chegou às minas brasileiras, porque a facilidade com que se obtinha o ouro aluvial não impunha ao minerador a necessidade de aperfeiçoar seus precários conhecimentos. A introdução de técnicas, ainda que primárias, coube aos escravos africanos em razão da experiência acumulada em atividades mineradoras em sua terra de origem.

Com o esgotamento do ouro aluvial, o minerador deparou-se com o desafio extrativo. Os métodos primários utilizados não mais conseguiam vencer as dificuldades de extração, ocasionando o desestímulo dos proprietários de jazidas e o conseqüente declínio da produção. Aos poucos, conforme maior grau de dificuldade em se extrair o ouro, o minerador foi obrigado a aperfeiçoar a metodologia, a partir da qual a exploração artesanal foi, aos poucos, sendo abandonada em detrimento das atividades minerárias de cunho industrial.

A primeira fase da Revolução Industrial (1760 a 1860) significou o início do processo de acumulação rápida de bens de capital, com conseqüente aumento da mecanização. Neste período tiveram especial desenvolvimento, entre outros, a produção em larga escala, o surgimento da máquina a vapor, o desenvolvimento da indústria têxtil e de mineração e a ampliação do mercado consumidor. A burguesia inglesa tinha capital suficiente para financiar as fábricas, comprar

máquinas, adquirir matéria-prima e contratar empregados. Ademais, a Inglaterra possuía além de abundante mão-de-obra, grandes reservas de minério de ferro e carvão mineral – este segundo com jazidas situadas próximas a portos importantes, facilitando o transporte e a instalação de indústrias.

A partir de 1870, a industrialização deu lugar a uma busca frenética por minerais metálicos e as máquinas a vapor provocaram um aumento na demanda por carvão mineral. Segundo McNeill (2003), a exploração de carvão, que em 1800 atingia a casa de 10 milhões de toneladas, foi multiplicada por dez no século XIX e aumentou seis a sete vezes mais durante o século XX.

Entretanto, foi durante a Segunda Guerra Mundial que os chamados Acordos de Washington¹ concederam ao Brasil condições de constituir seus gigantes da mineração e da siderurgia (Souza, 2004) a exemplo da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) e Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Atualmente estas empresas detêm a titularidade das maiores reservas mundiais de minério de ferro localizadas em território brasileiro.

Além de ocupar a primeira posição na exploração/produção mundial de minério de ferro, em 2006, a CVRD alcançou o segundo lugar no ranking mundial das maiores mineradoras, graças aos seus projetos altamente rentáveis e às inúmeras fusões e aquisições de mineradoras, dentro e fora do país.

A estratégia desenvolvida pela CVRD para alcançar esta posição contempla não somente projetos com baixo custo de operação e alta rentabilidade, mas também um eficaz plano de disposição de estéreis², com redução de custos através da otimização na ocupação das áreas, em conjunto com a elevação da altura das pilhas de estéril.

Atualmente já existem projetos de pilhas de estéril com capacidade média para disposição de 200 milhões de metros cúbicos e altura superior a 400 metros.

¹ Os Acordos de Washington consistiam em um decreto firmado entre Brasil e Estados Unidos da América, durante a Segunda Guerra Mundial, em represália ao torpedeamento de cinco navios brasileiros por submarinos alemães. Estes acordos selaram um empréstimo concedido pelos Estados Unidos para a modernização e implantação do projeto siderúrgico brasileiro, além da aquisição de material bélico (Wikipédia^a). Em contrapartida o Brasil assumia o compromisso de fornecer látex e minérios estratégicos à indústria bélica americana. Esses acordos foram decisivos para a criação da CSN e da CVRD.

² Disposição de estéril - todo e qualquer material descartado na operação da lavra, em caráter definitivo ou temporário, como não sendo minério (NBR 13.029/1993).

Em um futuro próximo, estas características serão, provavelmente, comuns às demais mineradoras operantes do mundo.

A necessidade de disposição do material estéril também está condicionada à crescente demanda por fontes energéticas, tais como o carvão mineral e outros combustíveis como relatam Harwood e Thames (1988), após a rápida expansão das minas de carvão nos Estados Unidos.

Como resultante desta expansão, o estudo de pilhas de estéril tornou-se foco de grande interesse de grupos de geotecnia envolvidos diretamente nas atividades de mineração, assim como dos órgãos ambientais, haja vista a exigência de apresentação de projetos conceituais das pilhas de disposição de estéril nos processos de licenciamento ambiental.

As recentes aquisições de mineradoras pela CVRD têm surtido um efeito positivo no que concerne a um maior controle da degradação ambiental, pois, uma vez adquiridas, estas mineradoras passam por processos de adequação às boas práticas gerenciais e ao cumprimento da legislação ambiental pertinente.

Em contrapartida, a aquisição de novas reservas minerais implica na aquisição de passivos ambientais remanescentes, nos quais os extintos aterros (bota-fora³), formados pela deposição de material estéril sem nenhum planejamento, deverão, necessariamente, ser adequados a obras seguras, estáveis, de baixo impacto ambiental e favoráveis ao descomissionamento.

Mais do que isso, essas estruturas deverão integrar-se à paisagem da região em que estão implantadas, como estabelece a certificação ambiental exigida pelo mercado internacional globalizado.

No entanto, muitos desses passivos gerados no passado são hoje cicatrizes que podem ser confirmadas pela existência de cavas abandonadas e antigos “bota-foras” que, em alguns casos, têm sido remediados e transformados em pilhas de estéril – características de uma fase depredatória da mineração em diversos países.

A dissertação ora apresentada desenvolverá as questões que perpassam a problemática específica de uma pilha de estéril temporária constituída por rocha Itabirítica, que, atualmente, apresenta uma elevada pressão hidrostática em sua fundação.

³ Bota-fora - estrutura formada pelo descarte de material estéril, de forma não controlada, sem planejamento, ordem ou controle (NBR 13029/1993).

Pressões desta natureza podem estar relacionadas a diversos fatores, cabendo destacar: o carregamento repentino do solo de fundação sem tempo suficiente para a dissipação do excesso de poro-pressão gerado durante a disposição de estéril; condicionantes geológicos e a ocorrência de eventos mais significativos de recarga do aquífero.

Apresentar-se-á uma caracterização geológico-geotécnica e hidrogeotécnica do local de conformação da pilha nº 5 (PDE-05), a partir de relatórios técnicos, visitas de campo, sondagens, ensaios de campo e laboratório, observando-se a bibliografia existente.

Com base nestes dados, será desenvolvido um modelo conceitual e dois modelos numéricos de fluxo subterrâneo em duas e três dimensões respectivamente, a fim de reproduzir o sistema de escoamento da água subterrânea pelo material estéril e pela fundação da pilha enfatizando, principalmente, os possíveis condicionantes geológicos responsáveis pela geração de pressões hidrostáticas elevadas na fundação desta pilha.

Além desta introdução, a pesquisa dividi-se em oito capítulos. O segundo capítulo sumariza as principais características hidrológicas relatadas na literatura referente as pilhas de estéril. O terceiro capítulo apresenta uma compilação de todas as informações cedidas pela empresa operante da PDE-05 (CVRD). O quarto apresenta a caracterização da área em estudo, focando principalmente as propriedades geotécnicas e hidrogeotécnicas. O quinto capítulo discorre sobre o modelo conceitual proposto. A implementação, análise e interpretação dos resultados dos modelos numéricos em duas e três dimensões bem como a comparação entre seus resultados são desenvolvidas no sexto capítulo. Por fim, são apresentadas as principais conclusões e referências bibliográficas utilizadas, respectivamente.

Nos apêndices A, B e C são apresentados uma seção geológica-geotécnica da área, os gráficos de variação temporal referente ao monitoramento hidrogeotécnico dos PZs e INAs e os resultados dos ensaios de campo e laboratório.

No anexo A e B, apresentam-se os dados de precipitação diária das estações Mina do Andrade e Usina Peti e os perfis de sondagens mencionados neste trabalho, respectivamente.

2 Considerações sobre Hidrogeotecnia de Pilhas de Estéril

Neste capítulo serão apresentadas algumas importantes considerações sobre os aspectos relacionados à hidrogeotecnia em pilhas de estéril, focalizando principalmente as características hidráulicas do material disposto, problemas de estabilidade gerados a partir das condições de fluxo e, por fim, a vulnerabilidade do material estéril quanto à contaminação do solo e aquíferos.

Cabe lembrar que apesar de existirem diversos grupos de pesquisa interessados nesse tipo de problemas, o foco principal dos empreendedores do setor mineral quanto a disposição de estéril ainda é a redução dos custos de transporte, e não o desenvolvimento de projetos de engenharia adequados, que implicariam melhorias nos métodos de disposição do estéril.

Em pilhas de estéril os principais custos de disposição estão concentrados nas seguintes atividades: drenagem, proteção vegetal, retenção de finos gerados por carreamento de sólidos durante e após a formação da pilha, manutenção ao longo dos anos e transporte do estéril. E de todas estas atividades enumeradas, o mais expressivo é o transporte, estando este dependente basicamente dos equipamentos e perfis de transporte (Franco, 1991).

Apesar disso, este mesmo autor relata que problemas envolvendo custos de manutenção podem gerar valores extremamente significativos ao final da vida útil do depósito, onde a saturação do maciço devida à inexistência de sistemas de drenagem interna e superficial adequados, associada à alta compressibilidade do material disposto conferida pelo lançamento de grandes espessuras, tem gerado grandes deformações e instabilidades generalizadas.

2.1. Características Hidráulicas

Pilhas de estéril são formadas pela disposição de materiais distintos e, na maioria dos casos, sem valor comercial agregado. Podem ser compostas por solos e/ou rochas provenientes, ou não, de uma mesma matriz litológica. Entretanto, mesmo em se tratando de pilhas de estéril homogêneas quanto ao tipo de material

disposto, não é possível atribuir o mesmo adjetivo às suas características hidráulicas.

Estas características hidráulicas são propriedades difíceis de ser estimadas, todavia, são de suma importância para o entendimento dos sistemas de fluxo no interior de seus aterros, sendo em muitas situações as principais responsáveis por problemas de estabilidade e transporte de contaminantes.

Dentre os fatores que influenciam as características hidráulicas das pilhas de estéril pode-se citar como os de maior relevância: a litologia do estéril; métodos de remoção e disposição; tráfego de máquinas e caminhões sobre a pilha; superfície topográfica; direção e mergulho das camadas sotopostas à pilha; idade do estéril e as propriedades físicas e químicas do material estéril.

Com relação aos processos utilizados nas minas para remoção e disposição do estéril, estes criam ambientes favoráveis para a predominância de sistemas heterogêneos de escoamento pelo maciço da pilha, devido à grande variabilidade das propriedades físicas dos estéreis. Tal fato pode ser reforçado, ainda mais, caso o método de deposição ou de disposição utilizado seja de “ponta de aterro” (método descendente).

Segundo Caruccio *et al.* (1984), estes sistemas de escoamento em subsuperfície podem apresentar características de escoamento completamente distintas (similar ao escoamento em um sistema cárstico), nos quais a água percola por grandes vazios e condutos em regime turbulento ou similar ao escoamento por um meio pouco fraturado de um embasamento rochoso.

No passado, alguns estudos mostravam que o sistema de fluxo no interior das pilhas de estéril era definido por um escoamento em meio de poros médios, similar a um aluvião não consolidado. Entretanto, recentes trabalhos de campo e ensaios realizados em pilhas de estéril indicaram que as suposições anteriores não estavam completamente corretas, já que variações de até duas ordens de grandeza foram encontradas por Hawkins (1998), quando comparados os valores de condutividade hidráulica de regiões próximas ao topo e à fundação da pilha.

Todavia, Rehm *et al.* (1980) e Moran *et al.* (1979) constataram um decréscimo na permeabilidade do estéril com o passar dos anos, o que pode ser explicado pelas diferenças encontradas nas propriedades físicas e químicas das rochas dos locais extraídos. No exemplo descrito por eles, o estéril de carvão (encontrado na porção oeste da lavra) era constituído por cimentos fracos,

tendendo a formar largos vazios. E, para a porção norte da lavra, o estéril possuía materiais argilosos expansivos criando condições para uma menor permeabilidade.

Mais do que isso, Hawkins e Aljoe (1991) relatam que lençóis freáticos múltiplos e temporários nos maciços das pilhas de estéril podem apresentar até mesmo condições extremas – tanto para níveis piezométricos muito baixos como também para níveis de artesianismo – observadas durante eventos isolados de recarga do aquífero. As causas para esses fenômenos podem estar relacionadas à diversidade dos estratos litológicos formados durante a disposição do estéril, sendo comum a predominância de zonas (lentes) compostas por tipos de materiais e características hidráulicas completamente distintas.

Outro fato curioso observado por Phelps (1983) aponta para uma redução generalizada da densidade do material estéril em razão do aumento da profundidade da pilha. Esta ocorrência é justificada pela criação de vazios intersticiais decorrentes do deslizamento de fragmentos maiores para a base da pilha de estéril, formando grandes lacunas e vazios entre esses grandes fragmentos de estéril.

Mesmo assim, com propriedades hidráulicas tão distintas e difíceis de serem caracterizadas, o estéril vem sendo utilizado em maciços de barragem conforme relatado por Filho *et al.* (1991).

Nota-se em diversas minas a céu aberto que o método mais utilizado para a formação das pilhas é o do tipo descendente, o que significa que o material estéril proveniente do avanço da lavra é despejado em “ponta de aterro”. Nessas condições, blocos maiores tendem a rolar para a base do talude, enquanto fragmentos médios e pequenos do estéril tendem a permanecer próximos ao topo (Rehm *et al.*, 1980), formando regiões mal graduadas quanto à classificação granulométrica (Figura 1).



Figura 1 – Material estéril depositado na PDE-05, localizada na mina do Andrade, indicando grande heterogeneidade. Segregação do material disposto devido à conformação da pilha, apresentando blocos maiores na base do talude e fragmentos menores na crista e demais regiões.

2.2. Instabilidade Geotécnica Relacionadas às Condições de Fluxo

No passado, a pouca importância atribuída ao entendimento das condições de fluxo superficial e subterrâneo em pilhas de estéril trouxe consequências graves, a exemplo da ruptura de uma pilha de carvão em Aberfan (South Wales). Conforme relatado por McLean e Johnes (2000) nesta tragédia morreram 144 pessoas, após deslizamento da pilha, momento em que a massa de estéril atingiu 20 casas e uma escola no vilarejo. Segundo Robertson *et al.* (1985) as possíveis causas desse acidente estão relacionadas, principalmente, à saturação do maciço da pilha e da redução dos parâmetros de resistência dos materiais dispostos.

Saturações dessa natureza ocorrem devido ao acúmulo de água no interior da pilha (locais mal drenados), associado às mudanças nas propriedades hidráulicas do estéril (permeabilidade), visto que, a longo prazo, a ação do intemperismo e o carreamento de materiais mais finos do estéril propiciam a formação de regiões de baixa permeabilidade e difíceis para percolação de água.

Outra causa também mencionada por Robertson *et al.* (1985) foi a diminuição nos valores dos parâmetros de resistência do estéril. Dependendo das condições climáticas em que o estéril estiver exposto, mais uma vez, a ação do

intemperismo será responsável pela diminuição da resistência ao longo do tempo, podendo causar eventuais instabilidades geotécnicas.

Modos de ruptura essencialmente causados por influência da água em pilhas de estéril são descritos por Caldwell e Moss (1981), conforme apresentado na Figura 2. Dois processos podem ser enumerados como possíveis agentes causadores da ruptura: (i) elevação da superfície freática no maciço das pilhas e (ii) saturação do talude e fluxo superficial paralelo a sua face.

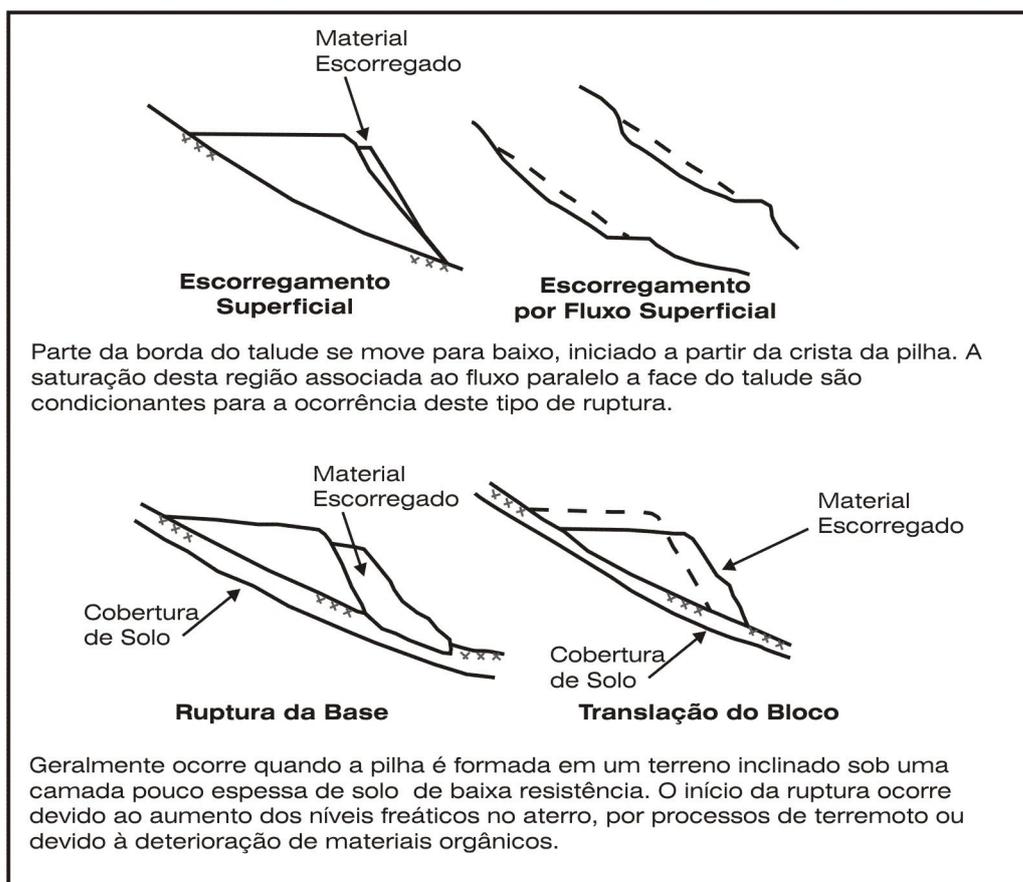


Figura 2 – Modos de ruptura em pilhas de estéril, onde a água é o principal condicionante (adaptado de Caldwell e Moss, 1981).

Grande parte dos problemas de instabilidade geotécnica de taludes de pilhas de estéril, vivenciados por muitas mineradoras, são oriundos do desaguamento inadequado da água superficial e de subsuperfície. Contudo, devido principalmente à ampla diversidade das características físicas do estéril, existem poucas diretrizes funcionais para avaliar o escoamento subterrâneo da água.

Groenewold e Winczewski (1977) observaram que pilhas de estéril de alta transmissividade dispostas sobre superfícies formadas por vales são mais

susceptíveis à subsidência, devido à ocorrência do fenômeno denominado *pipping*⁴, no qual os materiais estéreis granulares finos são carreados em razão do aumento da velocidade da água existente no interior das pilhas.

Contudo, ressalta-se também que, caso o material estéril não tenha sido disposto e revegetado de maneira adequada, em conformidade com as diretrizes estabelecidas nas normas técnicas vigentes,⁵ poder-se-á criar um ambiente favorável à ocorrência de passivos ambientais, como por exemplo, como deslizamentos, carreamento de sólidos para cursos de água e contaminação de solos e aquíferos. Fatores como a topografia da região, intensidade das variáveis climatológicas, tais como precipitação e vento, além das características físicas e químicas do material estéril poderão ainda gerar danos ambientais de maior complexidade.

2.3. Vulnerabilidade à Contaminação

O processo de operação e manutenção de pilhas de estéril vai muito além da estabilidade geotécnica, uma vez que o material estéril encontra-se vulnerável às condições de oxidação, percolação, lixiviação e erosão (Robertson *et al.*, 1985).

O gerenciamento adequado das águas nas pilhas de estéril é fator essencial para minimizar o risco de ocorrência de impactos negativos gerados por estas estruturas. Não raro é a existência de erosões nos taludes das pilhas devido à ação intensa do vento (Schwendiman *et al.*, 1980) e da água (Walters, 1983), porém os processos erosivos são considerados os principais mecanismos de dispersão de contaminantes. A incrementação de medidas mitigadoras para esta ocorrência faz-se obrigatória em novos projetos destas estruturas, frente às exigências da legislação ambiental vigente.

⁴ *Pipping* – fenômeno que ocorre em solos granulares devido à concentração da percolação em zonas mais permeáveis, gerando a ocorrência de tensões efetivas nulas em pontos da superfície de descarga da água subterrânea, ocasionando a erosão progressiva da estrutura (Pinto, 2002).

⁵ Normas técnicas vigentes – atualmente a norma NBR 13029/06 fornece diretrizes para a elaboração e apresentação de projeto de disposição estéril em pilha, no Brasil. Além disso, o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2001), através das NRM-01 a NRM-22, apresenta normas reguladoras à mineração. Nos Estados Unidos, a PL 95-97 é uma lei pública para o controle da mineração de superfície (SMCRA, 1977).

Ademais, é de amplo conhecimento que, devido aos episódios de variação do nível de água (zona de flutuação do lençol freático), podem ocorrer reações químicas e físicas nas regiões saturadas e não saturadas do estéril, ocasionando a geração de drenagem ácida (Hawkins, 1998), originando o transporte de contaminantes. Nesse contexto, Robertson *et al.* (1985) indica que medidas de controle e prevenção ao aporte de água no maciço das pilhas com potencial de contaminação são mais eficazes que o próprio controle na saída da água contaminada.

Pilhas de estéril contendo principalmente pirita podem sofrer a oxidação natural dos minerais sulfetados quando expostas à ação combinada da água e oxigênio (Mello e Abrahão, 1998), dando início a geração de drenagem ácida, ou melhor dizendo DAM (drenagem ácida de mina).

A qualidade dos solos e dos recursos hídricos de regiões próximas a minerações nestes casos acaba sendo comprometida seriamente se nenhuma medida mitigadora for efetivamente realizada. E, mesmo existindo materiais de fundação (terreno natural) nas pilhas de estéril que funcionem como uma camada protetora dos agentes contaminadores do solo e da água subterrânea (Haddad, 1991) tais como estes, a oxidação dos sulfetos e conseqüente geração de DAM será inevitável e fatalmente acabará por escoar até um meio permeável ou curso de água localizado a jusante do depósito.

Cada vez mais, novas tecnologias de tratamento de DAM têm surgido no âmbito mundial, seja por neutralização empregando aditivos químicos alcalinos (sistemas ativos) ou por descontaminação da DAM em banhados ou sistemas de terras úmidas (sistemas passivos). Entretanto, estes processos ainda ficam a desejar devendo, no futuro, enfrentar os desafios derivados dos grandes volumes envolvidos em pilhas de estéril associados às condições climáticas específicas do ambiente brasileiro.

Além disso, a demanda do mercado consumidor segue em contramão à urgente necessidade de desenvolver novas tecnologias para amenizar, e até mesmo extinguir, os passivos ambientais gerados dentro de um marco de desenvolvimento que visa a sustentabilidade da sociedade (Menezes *et al.*, 2004).

3 Localização e Dados Disponíveis da Área em Estudo

3.1. Localização e Histórico da Pilha

A pilha de estéril PDE-05 está implantada na mina do Andrade, no município de Bela Vista de Minas (Minas Gerais), próximo à cidade de João Monlevade e distante cerca de 125 quilômetros da capital mineira.

A origem do nome da mina é atribuída ao antigo proprietário da área, um tropeiro chamado Sr. Andrade (Ramos, 1996). No ano de 1935 o referido tropeiro vendeu a área da mina ao Grupo Belgo (antiga Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira), que a operou até 1972. A partir deste ano, a mina do Andrade passou a ser gerenciada pela Minerações Trindade S.A (SAMITRI), antiga mineradora do grupo, até que, em 2000, a SAMITRI foi vendida à CVRD e a mina voltou a ser administrada pelo Grupo Belgo. Ao final do ano 2004 a mina do Andrade foi arrendada pela CVRD até o fim de sua vida útil para operação e exploração, assegurando em contrato, o fornecimento de minério de ferro à usina da Belgo, mesmo em caso de futuras expansões (Minérios & Minerales, 2004).

A pilha PDE-05 situa-se em uma região a noroeste da lavra do Pico, porção da margem esquerda do vale do córrego da Derrubada e a jusante do paiol de explosivos, ocupando uma área total aproximada de 3,9 hectares (VOGBR, 2006), conforme apresentado na Figura 3.

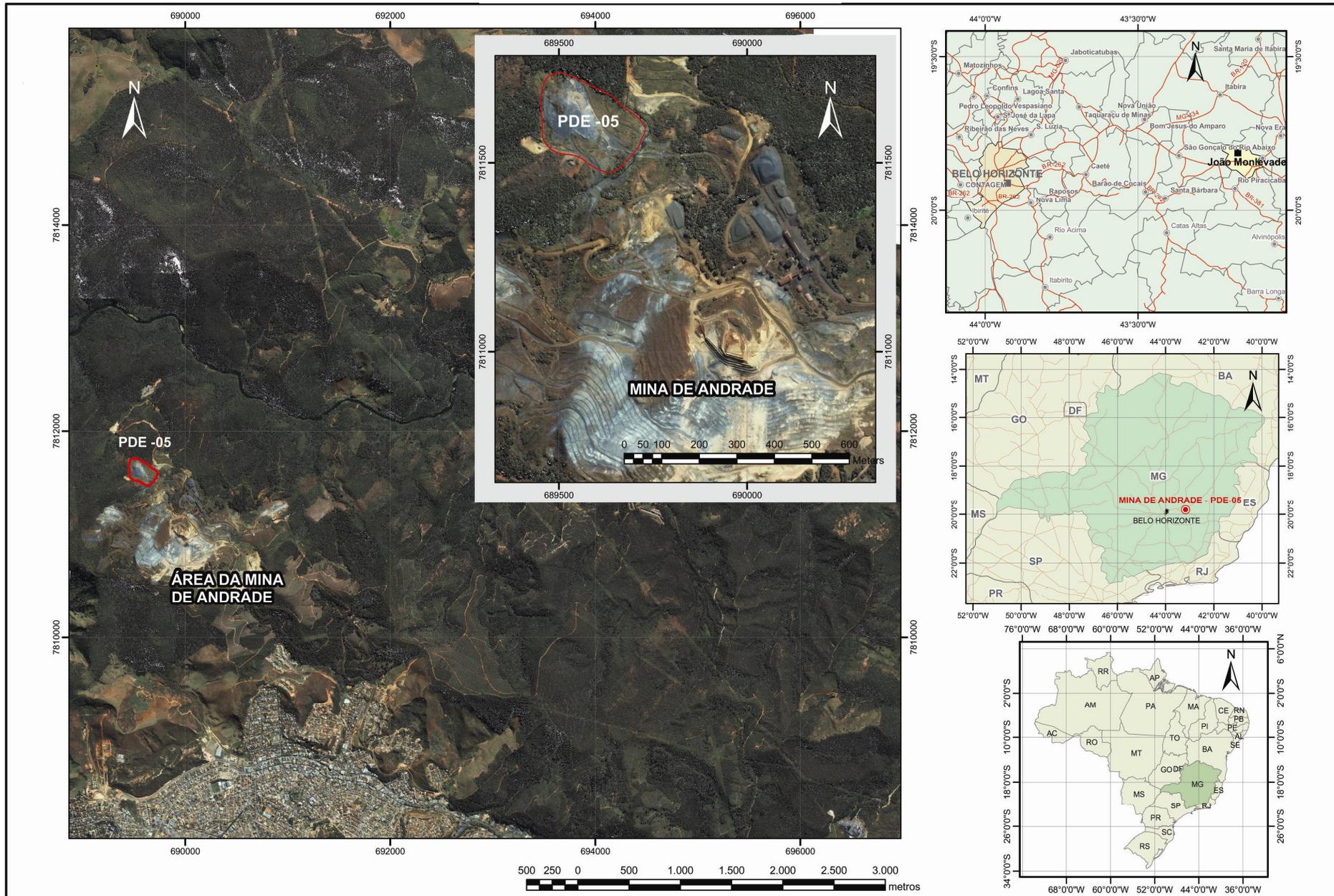


Figura 3 - Localização da área em estudo.

Diferentemente do projeto originalmente proposto (Figueiredo Ferraz, 1993), no qual se preconizava a implantação de uma grande pilha de estéril nesta área, a SAMITRI optou por dividi-la em duas pilhas de estéril denominadas PDE-02 e PDE-05, para evitar a implantação de um depósito único sobre o córrego da Derrubada e possibilitar a separação do estéril temporário (itabirito) do material sem valor comercial agregado (estéril de xisto).

Os limites topográficos da PDE-05 variam de 798 m (“pé”) a 862 m (crista) de altitude e de coordenadas UTM para o ponto central de referência da pilha igual a N7.811.600 e E689.600.

A Figura 4 apresenta uma vista parcial da pilha PDE-05 datada de janeiro de 2005 onde, recentemente, foi disposto material estéril.

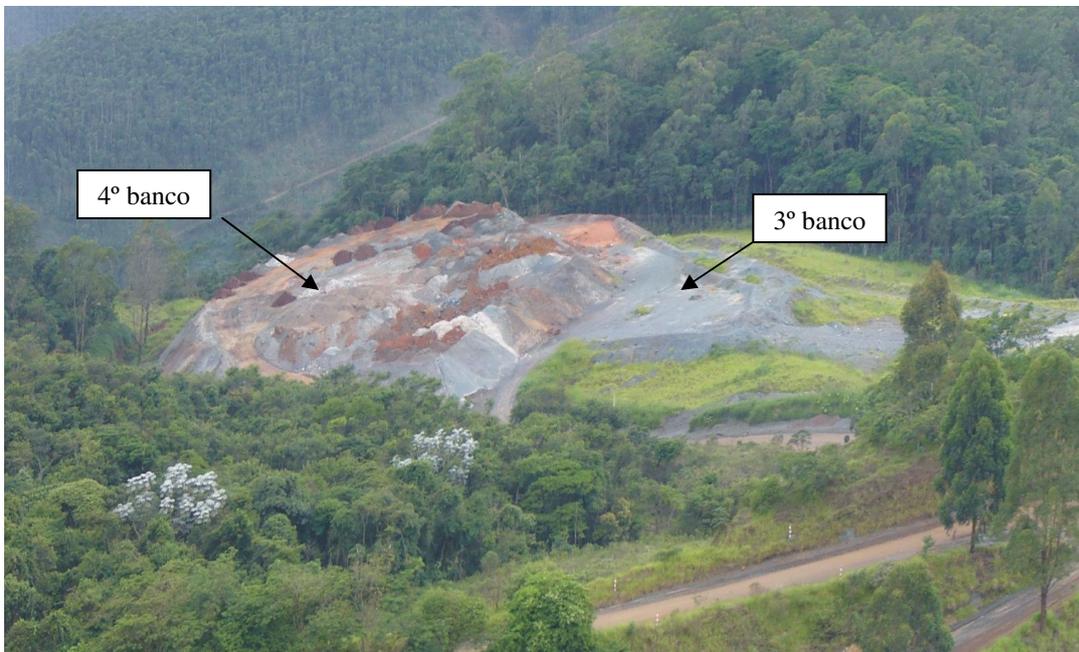


Figura 4 - Vista lateral do 3º e 4º banco da PDE-05 apresentando material depositado recentemente.

À jusante da PDE-05 encontra-se parte da PDE-02, atualmente fora de operação, devido a um processo de instabilidade ocorrido no período chuvoso de 2002/2003. Esta instabilidade foi caracterizada por um deslizamento de alguns taludes da pilha, seguido pelo fluxo do material disposto (VOGBR, 2006).

De acordo com depoimentos de ex-funcionários da SAMITRI (VOGBR, 2006) não foi executado nenhuma drenagem interna nesta pilha, em razão da mesma não ter sido implantada sobre áreas saturadas ou sobre surgências de água subterrânea.

3.2.Geologia

Neste item são discutidos os aspectos relacionados à geologia regional, litoestratigrafia e arcabouço estrutural relativos à área na qual a PDE-05 está inserida. Tomaram-se como base os seguintes mapas geológicos:

- Mapa geológico de João Monlevade escala 1:25.000 proposto por Reeves e Cobra (1959);
- Mapa geológico de João Monlevade escala 1:50.000 (Baltazar *et al.*, 2005);
- Mapa geológico da mina do Andrade (PROMINAS, 2005), fornecido pela CVRD – escala 1: 10.000 (Figura 5).

3.2.1.Geologia Regional

Regionalmente, a área em questão está localizada no Quadrilátero Ferrífero. Segundo Zenóbio (2000), o Quadrilátero Ferrífero é composto por três unidades litoestratigráficas (Quadro 1), conforme a coluna estratigráfica proposta por Endo (1997). A primeira unidade é formada pelo Complexo Metamórfico, que contém o embasamento cristalino, seguida das seqüências vulcano-sedimentares do tipo *greenstone belt*, representadas pelo Supergrupo Rio das Velhas. Na terceira unidade, sobreposta discordantemente, apresentam-se as seqüências de plataformas do proterozóico inferior, que correspondem ao Supergrupo Minas, Grupo Sabará e Grupo Itacolomi, terminando com coberturas sedimentares mais recentes, denominadas de Bacias do Gandarela e Fonseca.

Quadro 1 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (Endo, 1997).

Idade	Super grupo	Grupo	Formação	Litologia	Esp. Máx. (m)
PROTEROZOÍCO PALEO	Minas	Itacolomi	Indiviso	Ortoquartzitos, quartzitos (matriz ferruginosa), filitos quartzosos, filitos e conglomerados com seixos de itabiritos.	> 1.000
		Sabará	-	Clorita – xistos, grauvacas, metatufos, conglomerados e quartzitos.	>3.000
		Piracicaba	Barreiro	Filitos e filitos grafitosos.	150
			Taboões	Ortoquartzitos.	125
			Fecho do Funil	Filitos, filitos dolomíticos e dolomito silicoso.	410
			Cercadinho	Quartzitos ferruginosos, quartzitos, filitos ferruginosos e dolomitos.	600
		Itabira	Gandarela	Dolomitos, filito dolomítico e calcários.	600
			Cauê	Itabirito, itabirito dolomítico, hematita.	350
		Caraça	Batatal	Filitos e filitos grafitosos.	250
			Moeda	Quartzito sericítico, conglomerados e filitos.	1.000
		ARQUEANO	Rio das Velhas	Maquiné	Indiviso
Nova Lima	Indiviso			Filito clorítico, filito grafitoso, metagrauvacas, formações ferríferas, quartzitos, metacherts, dolomitos, rochas máficas e ultramáficas, sericita-quartzoxisto.	>4.000
Quebra Ossos	Indiviso			Komatitos, formações ferríferas e <i>metacherts</i> .	>600
Complexos Metamórficos	Indiviso		Indiviso	Gnaisses bandados, gnaisses migmáticos, augen gnaisses, granitos.	-

3.2.2.Litoestratigrafia

A área de interesse é constituída basicamente por litologias atribuídas ao Grupo Itabira (Supergrupo Minas), Supergrupo Rio das Velhas e rochas intrusivas. Da base para o topo, a área da mina é caracterizada pelas seguintes unidades geológicas (GOLDER, 2005):

a) Supergrupo Rio das Velhas:

Constituído por quartzitos, xistos indiferenciados e anfibolitos. Os xistos ocorrem na base da formação ferrífera e o quartzito na base dos xistos. O anfibolito ocorre no interior dos xistos, mas não se descarta a possibilidade de ocorrer anfibolitos no contato com a formação ferrífera. Devido ao tectonismo de empurrão, parte da formação ferrífera é constituída pelos xistos;

Gnaiss Monlevade: constituído por quartzo-biotita-gnaiss e gnaiss e camadas secundárias de quartzito e quartzo-mica-xisto (Reeves e Cobra, 1959).

b) Supergrupo Minas:

Grupo Itabira – Formação Cauê: é constituído por itabiritos friáveis a compactos e lentes de hematita, ocorrendo sobrejacente aos xistos. Devido à tectônica de empurrão, há corpos (lascas tectônicas) de formação ferrífera capeados pelos xistos.

c) Rochas intrusivas:

Formado por rochas básicas concordantes e discordantes em relação à estruturação geral do maciço da mina. Apresentam persistência e espessura variáveis. Há ocorrência destas rochas que cortam obliquamente o maciço da mina, com direção geral de noroeste para sudeste (NW – SE).

d) Coberturas sedimentares Fanerozóicas:

As coberturas fanerozóicas de idade terciária compostas por depósitos de canga laterítica ocorrem capeando as unidades geológicas, com espessura estimada da ordem de metros.

3.2.3. Arcabouço estrutural

A área está inserida no sinclinal Andrade onde a foliação representa a feição estrutural de maior importância na segmentação do maciço, condicionando a

distribuição dos litotipos, cujos contatos estão conformados por essa feição. Devido ao intenso tectonismo de empurrão, os contatos entre os litotipos são marcados por falhas com direção aproximadamente NW–SE oblíqua em relação à direção da foliação.

Em decorrência das falhas de empurrão, os contatos constituem superfícies de baixa resistência ao cisalhamento. Mesmo em regime dúctil, essas falhas favorecem a existência de uma zona mais deformada, estirada, milonitizada e cominuída, as quais propiciam a atuação dos processos intempéricos, em sua extensão, gerando zonas métricas de resistência mais baixa do que os litotipos circundantes. Além dos contatos, é de se esperar a ocorrência de planos de menor resistência no interior dos litotipos, condicionados pelas falhas de empurrão superimpostas à foliação.

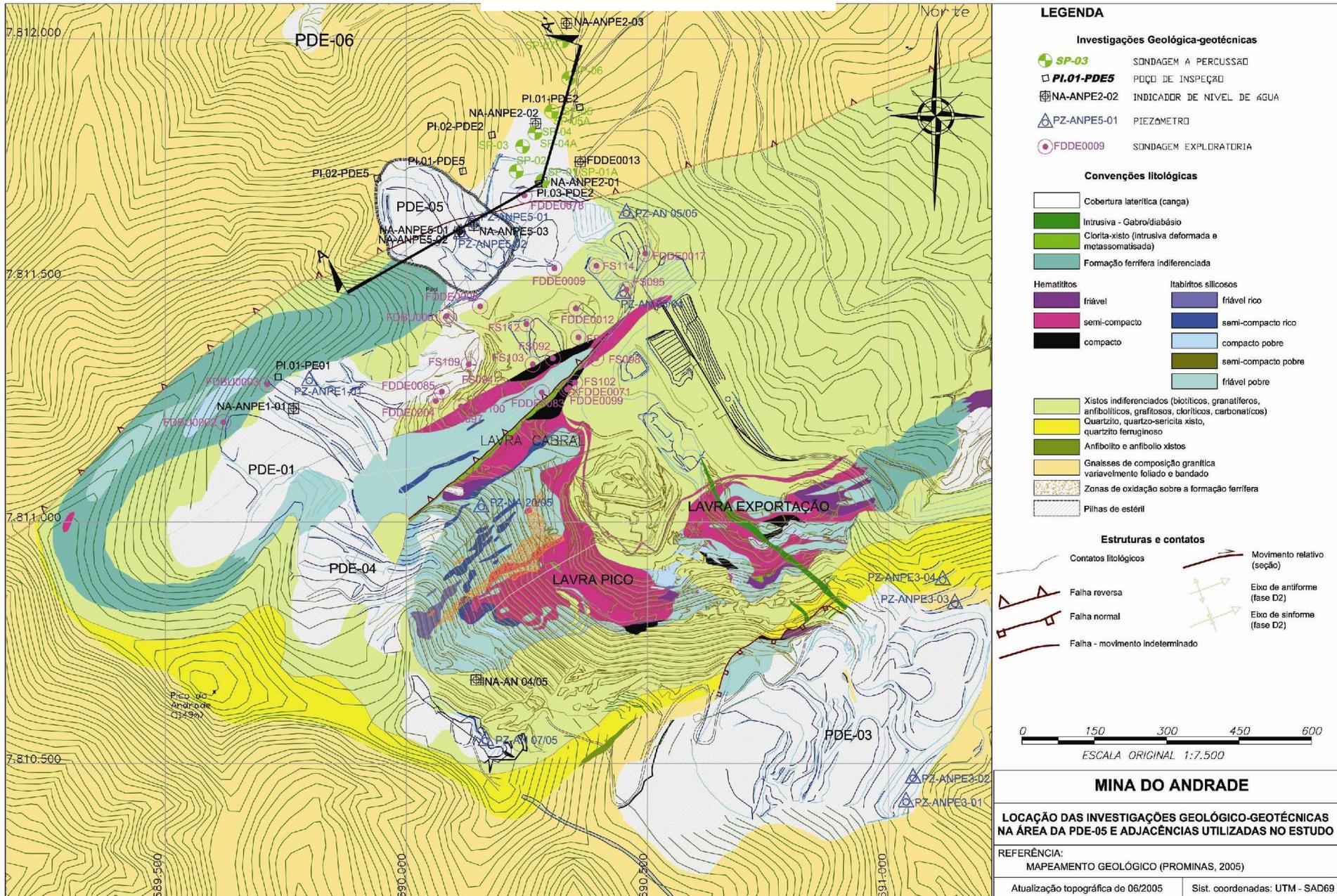


Figura 5 - Mapa geológico local da mina do Andrade (PROMINAS,2005) e locação das investigações geotécnicas utilizadas no estudo.

3.3.Dados Climatológicos

A mina do Andrade possui uma estação pluviométrica em atividade, com leituras diárias de precipitação e registros compreendidos desde novembro de 1978 até os dias de hoje, operada pela própria CVRD. Apesar de configurar uma série histórica representativa em relação ao período de monitoramento e à localização, a série não apresenta discernimento entre dias de precipitação nula e dias de falha.

Desta maneira, foi necessário buscar outras séries históricas representativas de estações próximas que permitissem, primeiramente, a distinção entre leituras nulas e falhas de registro para, em seguida, efetuar o preenchimento dos períodos de falha.

Há três estações pluviométricas próximas, operadas pela Agência Nacional de Águas – ANA, denominadas estação Santa Bárbara, Rio Piracicaba e Usina Peti. Comparando-se as leituras destas três estações com as observações da estação pluviométrica da mina do Andrade, optou-se por utilizar os dados da estação Usina Peti (código ANA nº 01943027 e coordenadas UTM iguais a E669.260,346 / N7.800.589,079) para preencher os períodos de falha, devido à similaridade entre totais anuais observados.

O preenchimento dos períodos de falha consistiu em realizar uma regressão linear, utilizando as leituras de precipitação das duas estações (mina do Andrade e Usina Peti), para ajuste de uma reta de regressão a ser utilizada no preenchimento das falhas da série pluviométrica da estação mina do Andrade. Com este intuito, eliminaram-se os dados nulos de ambas as estações.

Os dados referentes à estação Usina Peti foram obtidos por meio de banco de dados fornecido gratuitamente pela ANA (2006), o qual compreendia o período de 1941 a 2006. A reta de regressão foi construída apenas para o período comum de observações (1979 a 2005) e utilizada somente nos casos em que havia precipitação registrada na estação pluviométrica da Usina Peti e falha na estação da mina do Andrade. Quando não havia ocorrência de chuva na estação pluviométrica da Usina Peti, esta condição era replicada na estação da mina do Andrade.

A CVRD não realiza monitoramento evaporimétrico na mina do Andrade. Em vista disso, optou-se em realizar uma ponderação entre os dados obtidos em

duas estações climatológicas: Belo Horizonte (código 83587) e Caratinga (código 83582). Estas duas estações são operadas pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e possuem coordenadas UTM iguais a E611.635,370 / N7.795.514,050 e E798.607,380 / N7.808.105,890, respectivamente. O objetivo desta metodologia é transportar os dados de evaporação observados nestas duas estações para a mina do Andrade.

Nestas estações é monitorada a precipitação pluviométrica, a umidade relativa do ar, a evaporação em tanque classe A⁶, as temperaturas mínima, média e máxima diárias, a nebulosidade e a insolação total diária. Os dados referentes a esta estação foram obtidos da publicação “Normais Climatológicas” (INMET, 1992), publicada por essa mesma entidade, para o período de 1961 a 1991.

Para a ponderação dos dados de evaporação total destas estações foi levada em conta a distância da área estudada em relação a cada estação.

A Figura 6 exibe o histograma referente aos valores médios mensais para a evaporação total bem como as precipitações mensais mínimas, máximas e médias da estação da mina do Andrade, incluindo também os valores preenchidos. Considerou-se conveniente representar os valores mínimos, máximos e médios adquiridos para cada ciclo hidrológico, e não obtidos para toda série histórica que compreende o período de 1979 a 2005.

⁶ Tanque Classe A – consiste num tanque cilíndrico de 121 cm de diâmetro e 25,5 cm de altura, com fundo plano, construído inteiramente de chapa galvanizada (nº 22), montado em um suporte de madeira a 10 cm acima da superfície do solo. O tanque é cheio de água até 5 cm abaixo da sua borda e a partir das diferenças das alturas nas leituras dos níveis de água em dias consecutivos, pode ser determinado o total evaporado no período (Volpe e Oliveira, 2003).

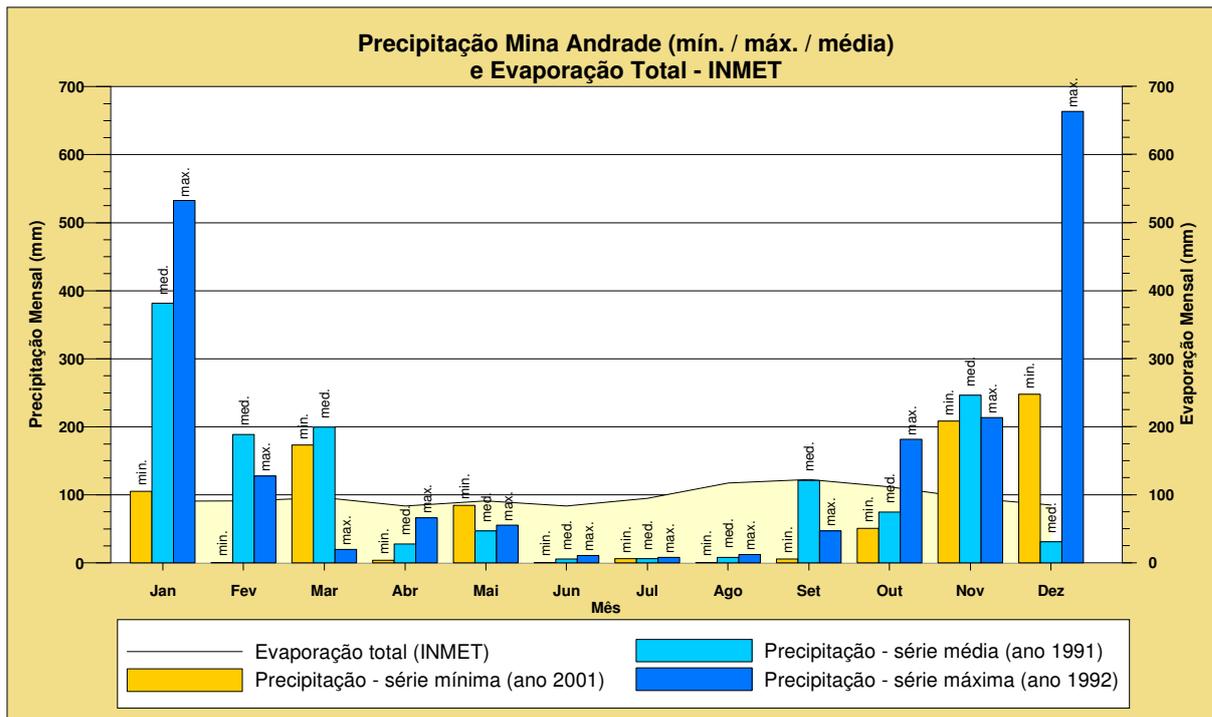


Figura 6 – Evaporação total mensal média (ponderação estação Belo Horizonte e Caratinga) e precipitações mensais médias (Estação Mina do Andrade).

De acordo com o sistema de classificação de Köppen⁷, a região em questão possui um clima mesotérmico úmido do tipo Cwb, com verões suaves, resultante da influência altimétrica, também conhecido como tropical de altitude. A temperatura média anual varia de 15,9°C a 26,5°C (valores referentes à cidade de João Monlevade, distante 5 km da mina).

O índice pluviométrico anual médio histórico da Mina do Andrade é igual a 1353 mm, sendo as chuvas concentradas no período de novembro a março. Os meses chuvosos contribuem com cerca de 81% da precipitação anual média, enquanto as menores precipitações ocorrem entre os meses de junho e agosto. A Figura 7 apresenta a variação temporal da estação pluviométrica da mina do Andrade, incluindo os dados preenchidos para os períodos de falha. Os dados referentes à precipitação anual acumulada das estações da Mina do Andrade e Usina Peti são apresentados no Anexo A deste trabalho.

⁷ A Classificação do clima de Köppen é uma divisão do clima, baseado em letras feitas por Wladimir Köppen, climatologista e meteorologista precursor da ciência meteorológica moderna, e cujas descobertas influenciaram profundamente os rumos das ciências da atmosfera. Sua classificação, proposta em 1900, foi baseada nas chuvas e temperaturas, expondo um sistema matemático de classificação climática que durante décadas orientou as técnicas meteorológicas. (Wikipédia^b).

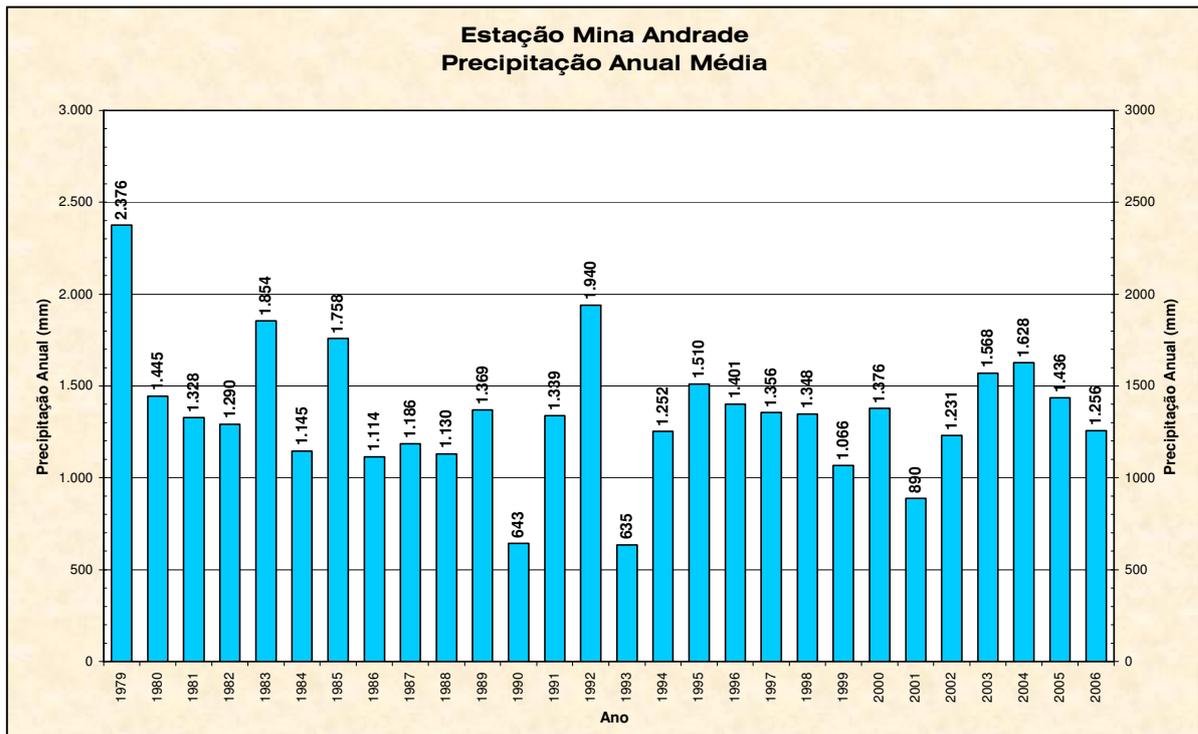


Figura 7 – Variação temporal dos totais anuais médios de precipitação obtidos na estação Mina do Andrade (1979-2006).

3.4. Investigações Hidrogeológico-Geotécnicas Executadas

De acordo com a base de dados geológico-geotécnicos da CVRD, já foram perfurados cerca de 30.000 m de sondagem exploratória através de 298 furos, realizados na mina do Andrade e entorno até o ano de 2005, sendo 10% desse valor nas adjacências da área da PDE-05. A área total de abrangência destas sondagens foi de aproximadamente 300 hectares.

Além disso, de setembro a dezembro de 2005, investigações geotécnicas foram executadas totalizando cerca de 680 m de sondagem rotativa, 28 m de perfuração de poços de inspeção, coleta de 14 blocos indeformados e 100 metros de sondagem a percussão, nas áreas de todas as pilhas de estéril existentes na mina do Andrade (VOGBR, 2006).

Nos itens 3.4.1 a 3.4.4 a seguir, são apresentados os tipos de investigação geológico-geotécnicas e hidrogeotécnicas executadas nas regiões próximas à área de estudo que possibilitaram a interpretação e o entendimento da geologia local, bem como a caracterização geotécnica dos materiais existentes na pilha e em sua fundação.

A locação das investigações hidrogeológico-geotécnicas utilizadas neste estudo são apresentadas na Figura 5 (Sub-item 3.2.3).

No Anexo B, são apresentados os perfis geológicos das sondagens executadas na mina do Andrade, mencionados neste trabalho.

3.4.1. Sondagens Rotativas, Exploratórias e à Percussão

Em local próximo à região estudada encontram-se executadas 51 sondagens rotativas, exploratórias e à percussão as quais puderam ajudar no conhecimento regional dos materiais existentes em sub-superfície.

As sondagens rotativas tiveram como objetivo a caracterização dos solos e rochas na fundação das pilhas de estéril existentes na mina e em suas ombreiras, possibilitando reconhecer o perfil geológico-geotécnico de cada pilha a partir da recuperação dos testemunhos de sondagem. Para cada metro perfurado foi possível descrever o material existente naquele furo através de uma análise tátil-visual, a qual permitiu definir os limites entre a superfície do terreno natural e os contatos do solo com a rocha ou da pilha com sua fundação.

As sondagens exploratórias, que já ultrapassam o número de 230 furos, permitiram à CVRD a criação e o refinamento do modelo geológico da mina para delimitar e classificar o corpo mineralizado existente.

Além disso, as sondagens à percussão, que foram executadas apenas a jusante da PDE-05, ou seja, na PDE-02, permitiram determinar a resistência à penetração do maciço desta pilha além de possibilitar, em alguns casos, definir os limites entre o material depositado e o terreno natural.

3.4.2. Piezômetros e Indicadores de Nível de Água

Em todas as sondagens rotativas executadas na região das pilhas PDE-01, PDE-02 e PDE-05 foram instalados instrumentos para o monitoramento do nível de água subterrânea, compreendendo 7 indicadores de nível de água (INA) e 3 piezômetros (PZ) do tipo Casagrande, com frequência mensal de monitoramento compreendendo um ciclo hidrológico de leituras a partir de novembro de 2005.

Atualmente, as leituras realizadas nestes instrumentos são feitas manualmente por técnico especializado da CVRD através de um medidor de nível de água também conhecido como “PIO⁸”.

Ressalta-se que os piezômetros instalados na área da mina apresentam filtros longos para medição do nível piezométrico superiores a 4 metros, sendo os valores medidos durante o monitoramento hidrogeotécnico referente a uma poropressão média e não pontual. A seguir é apresentado no Quadro 2 o resumo destes instrumentos.

Quadro 2 – Instrumentos de monitoramento hidrogeotécnico instalados nas pilhas de estéril PDE-01, PDE-02 e PDE-05.

Área	Instrumento	Tipo ⁹	Cota (m)			Comp. Filtro (m)	Litologia
			Terreno	Filtro ¹⁰			
				De	Até		
PILHA 01	NA-ANPE1-01	INA	956,53	955,03	922,03	33,00	estéril itabirito/xisto
	PZ-ANPE1-01	PZ	923,87	913,87	909,87	4,00	estéril (xisto/itabirito)
PILHA 02	NA-ANPE2-01	INA	790,37	788,87	767,67	21,20	estéril itabirito/xisto
	NA-ANPE2-02	INA	755,70	754,20	736,90	17,30	estéril xisto / solo residual
	NA-ANPE2-03	INA	711,78	710,28		700,75	estéril de itabirito
PILHA 05	NA-ANPE5-01	INA	838,34	836,84	791,54		estéril (xisto/itabirito)/SR
	PZ-ANPE5-01	PZ	821,03	791,53	787,33		solo residual xisto
	PZ-ANPE5-02	PZ	838,17	801,17	797,17		estéril (xisto/itabirito)
	NA-ANPE5-02	INA	838,23	836,73	808,63		estéril itabirito
	NA-ANPE5-03	INA	821,53	820,03	801,13		estéril itabirito

A partir destes dados de monitoramento hidrogeológico foram gerados gráficos da variação temporal do nível de água, juntamente com precipitação diária acumulada entre as leituras (Apêndice B). A análise preliminar destes

⁸ “PIO” - aparelho elétrico ou mecânico, normalmente utilizado durante a execução de sondagens ou durante o monitoramento hidrogeológico para a medição do nível de água subterrâneo em poços e piezômetros instalados no terreno natural ou aterros.

⁹ Os tipos de instrumento de monitoramento hidrogeotécnico instalados na área das pilhas de estéril, a partir da execução de sondagens geotécnicas são: (i) indicador de nível de água (INA) – instrumento de medição do nível freático; (ii) piezômetro (PZ) – instrumento de medição da carga de pressão do fluido em uma profundidade definida.

¹⁰ Filtro: porção inferior do tubo do INA ou PZ, repleta por orifícios que permitem a entrada da água proveniente do lençol freático ou aquífero no poço.

gráficos permite observar que o nível de água nos piezômetros e indicadores de nível de água variou entre 0,5 m e 2,0 m e 1,0 m a 5,0 m, respectivamente.

Estas variações são mais expressivas nos INAs pelo fato de estarem instalados no maciço das pilhas de estéril de itabirito, material eminentemente drenante que, portanto, apresenta respostas rápidas aos eventos chuvosos ou de estiagem.

No caso dos PZs, como eles se encontram, em sua maioria, instalados em terreno natural (exceto o PZ-ANPE1-01), a variação das leituras acontece com um retardo de um a dois meses após o evento chuvoso de maior intensidade.

Verificam-se também inconsistências em algumas leituras, principalmente as iniciais, influenciadas possivelmente pela perfuração ou imprecisão de aparelhos utilizados para realizar tal monitoramento. As leituras iniciais foram feitas pela empresa de sondagem que utilizou o “PIO” mecânico para realizar leituras do nível de água durante a instalação de PZs e INAs. Há leituras que apresentam valores incoerentes e absurdos ao compará-los aos demais valores obtidos no período monitorado (nov/2005 a nov/2006), levando a crer que ocorreram erros de leitura ou de transcrição dos dados. Como exemplo cita-se a leitura do instrumento NA-ANPE5-01, que apresentou cerca de 13,0 m de diferença em relação às leituras anteriores e posteriores (leitura em 27/06/06).

As leituras do indicador de nível de água NA-ANPE2-02 foram desconsideradas, uma vez que este instrumento se encontra atualmente entupido, provavelmente devido à movimentação do material disposto na PDE-02.

Apesar da série de leituras realizadas nos PZs e INAs representarem apenas um ciclo hidrológico, nota-se que as chuvas referentes ao período chuvoso deste ano de 2006 não foram muito significativas, como se pode observar pela comparação entre os totais anuais registrados em 2005 e em 2006 (Figura 7, item 3.3), passando de 1436 mm anuais em 2005 para 1256 mm anuais em 2006. Conseqüentemente, espera-se que a recarga do lençol freático neste período tenha sido também reduzida.

Além desses instrumentos instalados nas pilhas de estéril PDE-01, PDE-02 e PDE-05, há também cerca de 22 instrumentos em operação espalhados por toda a mina do Andrade, compreendendo 12 piezômetros (PZ) e 10 indicadores de nível de água (INA). A coleta destes dados teve como objetivo a calibração do modelo hidrogeológico e também a confirmação ou não da existência de água subterrânea

em litologias similares às existentes no substrato da área estudada, já que não foi possível realizar ensaios de caracterização hidrogeológica para as camadas mais profundas tais como gnaisse, quartzito, anfibolito, itabirito compacto e xisto.

3.4.3. Poços de Investigação

Cinco poços de investigação foram executados nas áreas adjacentes às PDE-01, PDE-02 e PDE-05, de aproximadamente quatro metros de profundidade cada, objetivando à visualização direta dos diferentes tipos de solos "in situ" (fundação das pilhas) e à coleta de amostras deformadas e indeformadas para realização de ensaios de laboratório (VOGBR, 2006).

3.4.4. Ensaio de Laboratório

Em nove amostras indeformadas e deformadas, coletadas nas áreas adjacentes às pilhas de estéril (PDE-01, PDE-02 e PDE-05), foram realizados os seguintes ensaios de laboratório: (i) ensaios de caracterização completa; (ii) compressão triaxial; (iii) permeabilidade.

Segundo relatório técnico da VOGBR (2006), os resultados dos ensaios de caracterização mostraram que nas áreas onde estão implantadas as pilhas PDE-01, PDE-02 e PDE-05 ocorrem materiais heterogêneos, com valores de limites de liquidez variando de não plásticos até 40; a fração granulométrica passante na malha da peneira 200 variando de 70 a 46% em peso (Figura 8); e a massa específica dos sólidos variando de 2,65 a 3,38 g/cm³. Do mesmo modo, são bastante variáveis as umidades (5,2 a 22,3 %) e as massas específicas naturais (1,7 a 2,5 g/cm³).

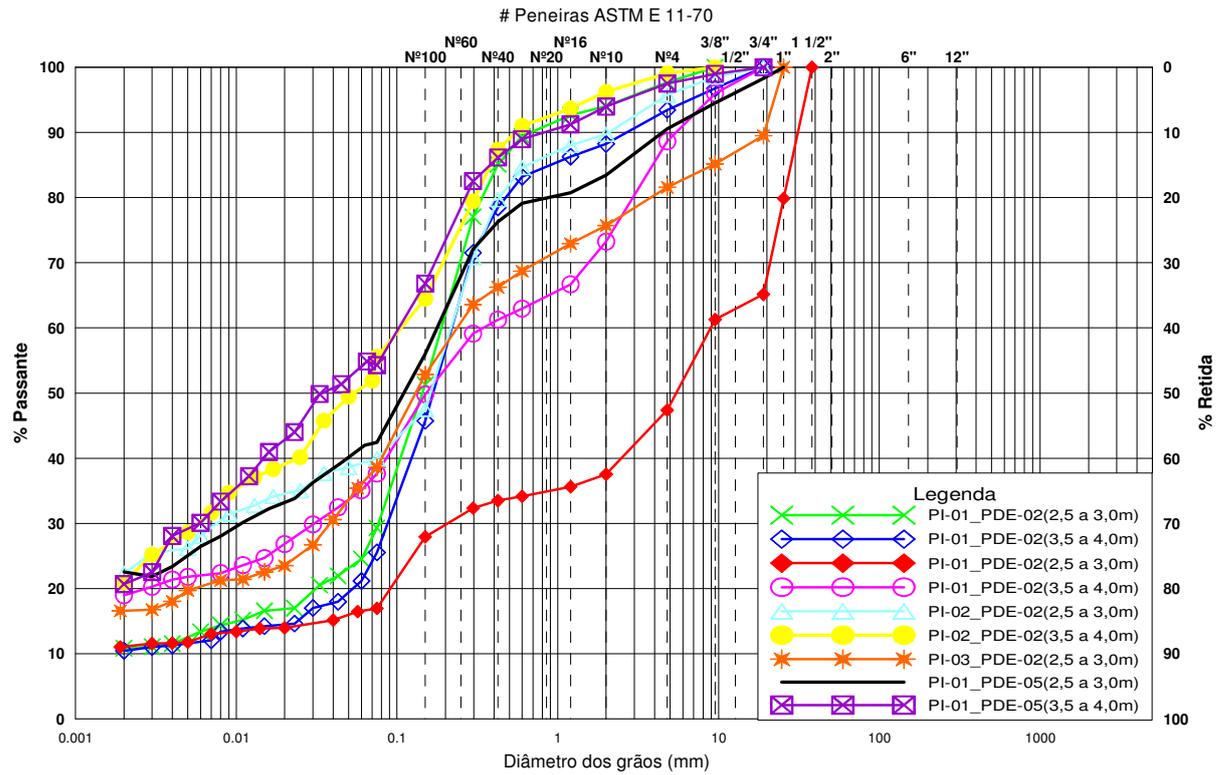


Figura 8 - Curvas granulométricas coletadas nas áreas adjacentes às pilhas de estéril (PDE-01, PDE-02 e PDE-05) da mina do Andrade (VOGBR, 2006).

4 Condições Geométricas e Caracterização Geológico-Geotécnica e Hidrogeotécnica da PDE-05 e Entornos

A caracterização geológica-geotécnica teve como base as investigações executadas na área bem como os mapeamentos geológico e geotécnico de superfície, além das seções geológicas verticais e horizontais oriundas do modelo geológico tridimensional da mina. Estes mapeamentos foram executados pelas empresas PROMINAS e VOGBR, respectivamente.

As investigações geológico-geotécnicas, apresentadas no item 3.4, foram executadas para a instalação de instrumentos para o monitoramento hidrogeotécnico, tais como piezômetros e indicadores de nível de água, além de correlacionadas com as informações obtidas no mapeamento de campo e demais furos de sondagens antigos provenientes das campanhas exploratórias da mina, permitindo a identificação das unidades hidrogeotécnicas existentes na área em estudo. No Apêndice A é apresentado uma seção geológica-geotécnica vertical da área em estudo.

Realizaram-se também alguns ensaios de campo e laboratório complementares as quais permitiram definir melhor os parâmetros hidrogeológicos e caracterizar o estéril disposto na PDE-05 assim como o material de fundação.

4.1. Configuração Geométrica da Pilha

A partir da topografia de campo disponibilizada pela CVRD foi possível levantar algumas informações geométricas da pilha tais como dimensões dos taludes e bermas, ângulos de face e global médio dos taludes etc.

A pilha possui atualmente uma altura total de 61 m, divididos em quatro taludes, de altura variável entre 10,0 m e 23,0 m, conformando ângulo de inclinação de face entre 24,5° e 36,6°. A largura entre bermas é também variável de 5,0 m a 12,0 m, conformando um ângulo médio da pilha de 27,5°.

O escoamento das águas superficiais ocorre livremente sobre o terreno natural, possibilitando a formação de pequenas erosões e o aumento do carreamento de material fino proveniente da pilha (VOGBR, 2006). Em uma primeira análise, o material depositado apresenta uma resistência relativamente boa aos processos erosivos em virtude de não haver estruturas de drenagens superficiais revestidas implantadas na base dos taludes, os quais se encontram revegetados, como é o caso do 1º, 2º e 3º bancos. Há um canal periférico escavado em solo na ombreira esquerda da pilha, atualmente não conectado ao sistema de drenagem superficial, mas que futuramente poderá ser utilizado para direcionar as águas superficiais provenientes dos taludes e bermas.

Na base desta pilha encontra-se o córrego Derrubada, canalizado em seção retangular, revestido em pedra argamassada, com seções interrompidas devido à ruptura local dos bancos inferiores da PDE-02. Na ombreira esquerda da PDE-02, o referido canal foi totalmente destruído por erosões e voçorocas. Ressalta-se que, devido à dinâmica da mina, a geometria da PDE-05 é bastante variável ao longo do tempo, visto que ela ainda está em operação, devendo atingir sua conformação final de encerramento até o final do ano de 2007.

4.2. Caracterização Geológico-Geotécnica da Área da PDE-05 e Adjacências

A caracterização geológico-geotécnica dos materiais encontrados na área em questão constitui base essencial para o correto entendimento dos possíveis condicionantes da sub-pressão na fundação da pilha e, conseqüentemente, a elaboração do modelo conceitual e implementação dos modelos computacionais condizentes com a realidade encontrada na área. Esta caracterização é apresentada a seguir, sendo possível identificar, basicamente, os seguintes materiais:

- Solos coluvionares e material orgânico indiviso;
- Solos residuais provenientes da alteração de itabiritos, xistos e gnaisses;
- Carapaça laterítica;
- Xisto, gnaisses, quartzito e itabirito.

Para facilitar a compreensão e distribuição espacial dos materiais encontrados na área em questão, optou-se em dividi-la em três porções, as quais serão descritas a seguir. A Figura 9 apresenta uma vista geral da área,

identificando alguns pontos importantes registrados durante as atividades de caracterização da área.

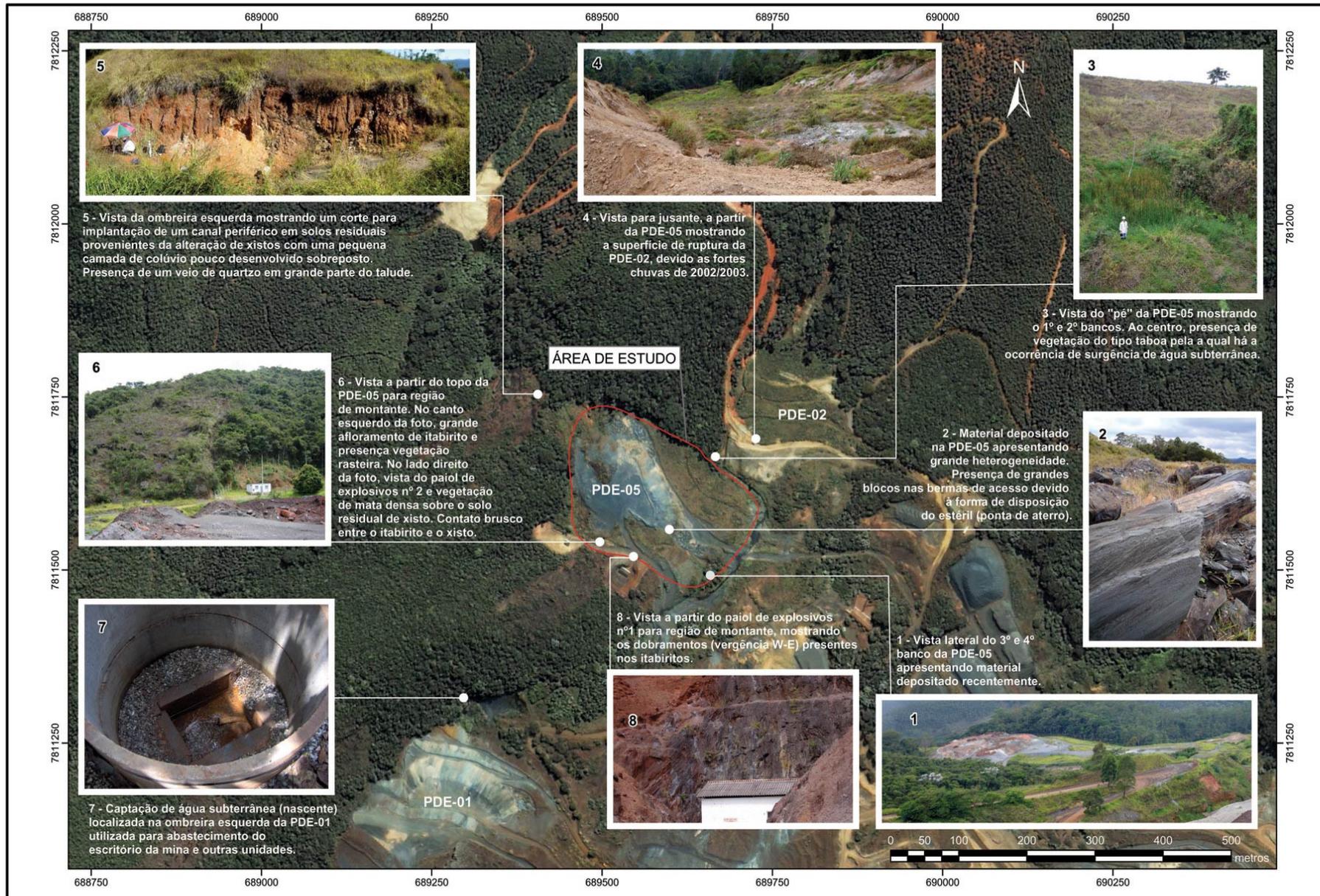


Figura 9 – Vista aérea da região em estudo (imagem Ikonos), identificando alguns aspectos importantes registrados durante a caracterização da área.

a) Porção central e adjacências da PDE-05

No que se refere ao material existente na PDE-05, o material é constituído basicamente por dois tipos de itabiritos: friáveis e rocha sã, os quais podem estar desagregados ou em blocos de tamanhos variados e apresentando de baixa a alta resistência à alteração.

Sob o maciço da PDE-05 e entorno, encontram-se solos residuais, provenientes da alteração de itabiritos e xistos (VOGBR, 2006), sendo que na ombreira esquerda encontram-se solos residuais provenientes da alteração de xistos sotoposto a uma pequena camada de colúvio pouco desenvolvido¹¹. Ressalta-se que nesta região da ombreira esquerda foi realizada, na época da implantação da pilha de estéril, escavação (corte) de um canal periférico para drenagem de água superficial, podendo-se observar em grande parte do talude um veio de quartzo. Na ombreira direita ocorrem apenas solos residuais provenientes da alteração de itabiritos.

As informações obtidas neste levantamento de campo puderam ser confirmadas através das sondagens rotativas NA-ANPE5-01 e PZ-ANPE5-01 indicaram a presença de solo residual (material de fundação da PDE-05) nas profundidades de 18,0 m (El. 820,34m) e 22,3 m (El. 798,73m), respectivamente. Para a sondagem exploratória FDDE0158, encontrou-se na profundidade de 37,1 m (El. 825,54m) rocha alterada de xisto sotoposta a uma camada de 6,0 m composta por itabirito friável (material de fundação da PDE-05).

Encontra-se, sotoposto ao solo residual, o xisto intercalado por lentes de itabirito e quartzito semi-compactos. Em profundidades maiores, o xisto apresenta baixo grau de fraturamento e porosidade praticamente inexistente, conforme observado no perfil geológico da sondagem FDDE0008.

b) Porção a montante da PDE-05

Na região a montante da pilha (porção SE), observam-se afloramentos de itabiritos (Figura 10), próximos ao paiol de explosivos nº 1, sendo que, sobre este itabirito, também se encontra uma camada pouco espessa de laterita.

¹¹ A expressão “colúvio pouco desenvolvido” refere-se aos materiais inconsolidados formados pela ação da gravidade ou água onde o transporte deste material ocasionou carreamento de porções mais finas (solo) e pequenos fragmentos de rocha.

Entretanto, para a porção SW, entre os paióis de explosivos nº 2 e nº 3, observa-se a presença de uma camada de solo residual de xisto e gnaiss sotoposta a um solo coluvionar pouco desenvolvido. Além disso, nesta porção foi identificada uma zona de falha no contato xisto/itabirito. Esta falha é evidenciada principalmente pelas dobras (vergência W-E) presentes nos itabiritos (Figura 11), e também pelos indicadores cinemáticos observados. No mapa geológico local da mina (PROMINAS, 2005) esta falha foi denominada como falha de empurrão.

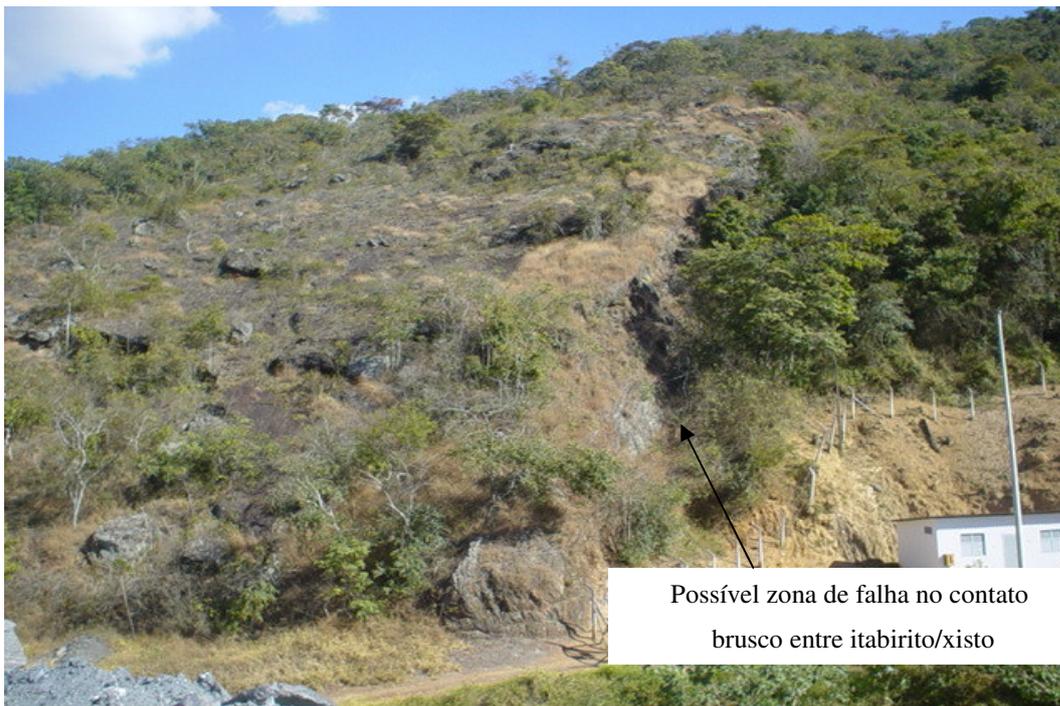


Figura 10 – Vista a partir do topo da PDE-05 para região de montante. No canto esquerdo da foto, grande afloramento de itabirito e presença vegetação rasteira. No lado direito da foto, vista do paiol de explosivos nº2 e vegetação de mata densa sobre o solo residual de xisto.

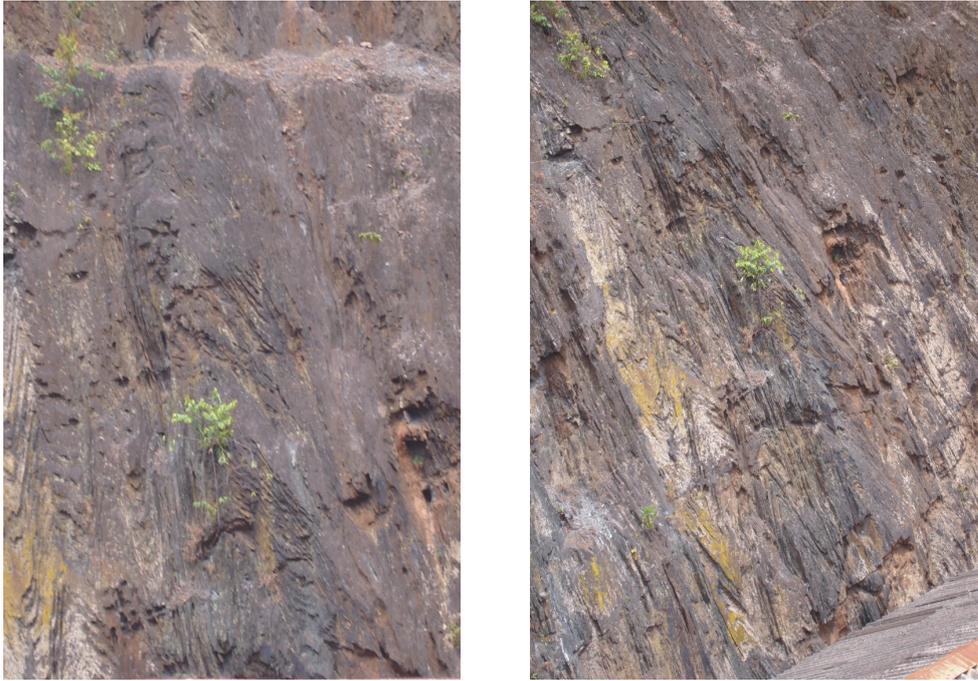


Figura 11 – Vista a partir do paiol de explosivos nº1 da PDE-05 para região de montante, mostrando os dobramentos (vergência W-E) presentes nos itabiritos.

Em algumas das sondagens exploratórias executadas na região de montante da PDE-05 observam-se informações interessantes relativas às características físicas dos litotipos perfurados entre outros dados úteis referentes à possibilidade de percolação da água subterrânea ou não nestas rochas. No Quadro 3, enfatiza-se principalmente a litologia, a porosidade, o grau de fraturamento e a hidratação dos testemunhos de sondagem.

Quadro 3 – Informações extraídas das descrições geológicas dos testemunhos das sondagens exploratórias na área de montante.

Nº Furo	Litologia	Intervalo (m)	Observações
FD-BU0001	xisto/itabirito	De 15,20 a 30,40	Alta porosidade e grau de fraturamento médio. Muito hidratado, exceto para o trecho 22,95 m a 30,40 m (porções de itabirito semi-compacto e friável).
FD-BU0002	canga/itabirito friável	De 3,30 a 28,40	Alta porosidade. Muito hidratado, exceto para o trecho 8,00 m a 28,40 m (porções de itabirito friável). Trechos não recuperados na sondagem: 9,40 m a 10,25 m; 17,55 m a 18,00 m e 20,10 m a 22,75 m
	itabirito compacto	De 28,40 a 50,00	Porosidade inexistente. Não hidratado. Presença de dobras complexas.

(continua)

Nº Furo	Litologia	Intervalo (m)	Observações
FD-BU0003	Quartzito	De 4,90 a 18,50	Alta porosidade, pouco fraturado. Hidratação não observada.
	itabirito friável / semi-compacto	De 18,50 a 34,90	Alta porosidade. Não hidratado.
	itabirito compacto	De 34,90 a 50,05	Não hidratado. Pouco fraturado. Presença de dobras.

c) Porção a jusante da PDE-05.

Nesta região encontra-se parte de alguns taludes da PDE-02, formada por estéril de xisto, que no ano de 2002 sofreu uma ruptura em alguns bancos, seguida por um escorregamento com posterior fluxo de material ao longo do vale a jusante da PDE-02. Toda esta região é coberta por solos residuais, sendo que no local em que ocorreu o fluxo de material, este solo residual possui espessuras da ordem de 4,5 m a 6,0 m.

Nas ombreiras, a espessura de solo residual é bem mais expressiva, isto é, em torno de 15,0 m. Na região a NW, encontram-se também acima deste solo um solo coluvionar pouco desenvolvido com matriz siltosa e presença de material mal selecionado com pedregulhos de granulometria fina.

Para a região localizada na porção SE (ombreira direita da PDE-02), observa-se um material coluvionar mais desenvolvido, com presença de pedregulhos e blocos de itabirito mal selecionados, provenientes das minas do Cabral e do Pico.

O Quadro 4 apresenta algumas informações extraídas das descrições geológicas dos testemunhos das sondagens exploratórias, realizadas na região de jusante da PDE-05. Enfatizam-se principalmente a litologia, a porosidade, o grau de fraturamento e a hidratação.

Quadro 4 – Informações extraídas das descrições geológicas dos testemunhos das sondagens exploratórias na área de jusante.

Nº Furo	Litologia	Intervalo (m)	Observações
FD-DE0013	xisto friável	De 10,60 a 67,60	Muito hidratado. Material friável. Grau de fraturamento baixo
	xisto compacto / itabirito compacto	De 67,60 a 144,70	Pouco hidratado. Grau de fraturamento baixo. Trecho de 118,75 m a 144,70 m de porosidade alta.
	xisto/itabirito compacto	De 144,70 a 187,60	Grau de fraturamento baixo/médio. Pouco hidratado e porosidade inexistente exceto p/ os trechos 144,70 m a 146,90 m e 162,85 m a 166,85 m.
	quartzito / xisto semi-compacto / compacto	De 187,60 a 252,10	Grau de fraturamento médio/baixo. Não hidratado exceto para o trecho 201,65 m a 211,50 m com baixa hidratação.
FD-DE0078	xisto friável	De 31,50 a 69,90	Muito hidratado.
	itabirito compacto / xisto compacto	De 69,90 a 146,35	Grau de fraturamento baixo/médio exceto p/ o trecho 69,90 m a 107,50 m de fraturamento alto. Hidratação variando de pouca a nenhuma.
	quartzito / xisto compacto	De 146,35 a 221,55	Não hidratado exceto para o trecho de 190,50 m a 196,50 m com hidratação baixa. Pouco fraturado.

As sondagens rotativas NA-ANPE2-01 e NA-ANPE2-02 indicaram a presença de solo residual nas profundidades de 20,50 m e 13,80 m, respectivamente. A sondagem NA-ANPE2-03 indicou a presença de topo rochoso (Figura 12) na profundidade de 10,00 m, sotoposto ao estéril da PDE-02, não sendo observada presença de camada de solo residual nesta sondagem. Tal ocorrência pode se justificar pelo fato de a sondagem ter sido executada exatamente no centro do talvegue (drenagem). Na região próxima à sondagem NA-ANPE2-03, há afloramentos de gnaisses bastantes resistentes e pouco alterados.

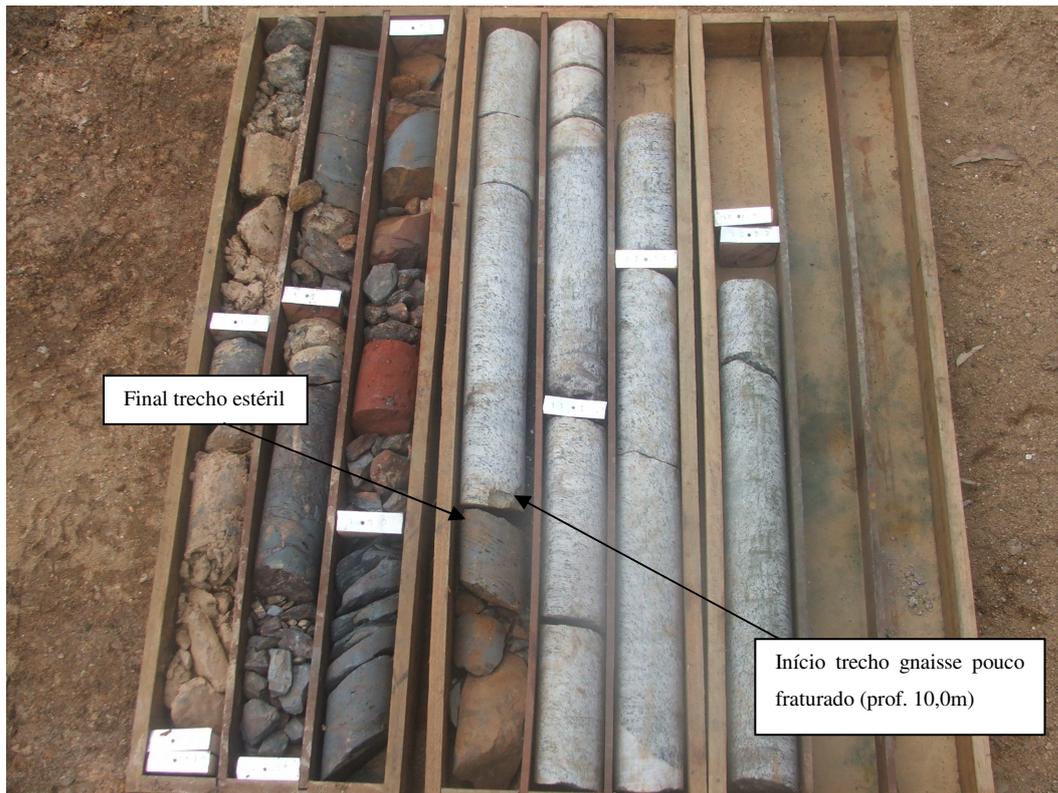


Figura 12 – Testemunho da sondagem rotativa NA-ANPE2-03 apresentando o início do gnaiss pouco fraturado a são a partir dos 10,0 m.

O Quadro 5 apresenta, resumidamente, as características gerais de cada tipo de solo ocorrente na área da PDE-05 e entorno.

Quadro 5 – Características gerais de cada tipo de solo encontrado na PDE-05 e entornos.

Local	Tipo de Solo	Distribuição Espacial	Descrição	Camada Máx. (m)
CENTRAL E ADJACÊNCIAS PDE-05	Solo Coluvionar	Solos com ocorrência restrita, limitada à ombreira esquerda da PDE-05.	Material silto-argiloso contendo pedregulhos, que variam de finos a grossos, mal selecionados.	1,0
	Solo Residual de Itabiritos	Ocorrem na ombreira direita da PDE-05.	Solo silto-arenoso de coloração avermelhada. Em alguns locais, observa-se presença de cobertura laterítica.	1,5
	Solo Residual de Quartzo-Feldspato-Xisto	Solo encontrado na ombreira esquerda e na fundação da PDE-05.	Constitui-se predominantemente por material areno-siltoso, de coloração avermelhada e porções de alteração de rocha expressivas de cor amarelada muito intemperizada. Em alguns locais, observa-se a presença de veios de quartzo na matriz do solo, principalmente a montante da pilha na porção oeste.	11,0

(continua)

Local	Tipo de Solo	Distribuição Espacial	Descrição	Camada Máx. (m)
À MONTANTE PDE-05	Solo Coluvionar	Solo com ocorrência restrita, limitada à ombreira esquerda da PDE-05 que se apresenta em depósitos com espessura baixa. Tais depósitos podem ser encontrados principalmente na porção NW da pilha.	Material silto-argiloso contendo pedregulhos, que variam de finos a grossos, blocos e matações, sendo geralmente mal selecionados.	0,5
	Solo Residual de Itabiritos	Ocorrem na porção SE da PDE-05, mais precisamente, na ombreira direita e também na montante da pilha.	Solo silto-arenoso de coloração vermelha a marrom, com estruturas pouco preservadas. Em alguns locais observa-se a presença de cobertura laterítica.	3,0
	Solo Residual de Xistos	Solos predominantes na área da PDE-05, exceto na porção SE da mesma.	Constitui-se predominantemente por material silto-argiloso com porções arenosas em alguns locais, de coloração vermelha escura.	10,0
À JUSANTE PDE-05	Solo Coluvionar	Solo com ocorrência limitada às ombreiras esquerda (coluvionar pouco desenvolvido) e ombreira direita (coluvionar desenvolvido) da PDE-02.	Coluvionar pouco desenvolvido: matriz silto-argiloso contendo pedregulhos com granulometria fina, geralmente mal selecionados e pouco espessos.	0,5
			Coluvionar desenvolvido: matriz siltosa, marrom avermelhada, contendo pedregulhos e blocos de itabiritos, geralmente mal selecionados e pouco espessos.	1,5
	Solo Residual de gnaisses	Solo com ocorrência na porção norte da PDE-02, mais precisamente nas ombreiras próximas à sondagem NAANPE2-03.	Solo silto-arenoso de coloração variada, com estruturas pouco preservadas.	2,0
	Solo Residual de Xistos	Predominantes na área da PDE-02, exceto na porção norte (próximo ao furo NA-ANPE2-03).	Constitui-se por material silto-arenoso, de coloração avermelhada. Em alguns locais, observa-se a presença de veios de quartzo na matriz do solo.	15,0

4.3. Ensaio de Campo e Laboratório Complementares

Procurando caracterizar melhor alguns materiais existentes na área, bem como identificar as possíveis causas da sub-pressão na fundação da PDE-05, executaram-se algumas investigações de campo e laboratório complementares na área em questão. O Quadro 6, exposto a seguir, apresenta o número e a área das investigações complementares de campo e laboratório, realizadas com este intuito. A memória de cálculo de todos os ensaios de campo e laboratório complementares encontra-se no Apêndice C.

Quadro 6 – Sumário das investigações de campo e laboratório complementares.

	Tipo de investigação	Objetivo	Nº de Ensaios	Área/Local
Em Campo	Ensaio com o permeâmetro de Guelph	Estimar a condutividade hidráulica saturada de campo do meio poroso.	18	Camadas superficiais do estéril de itabirito e solo de fundação da PDE-05.
	Ensaio com o tensiômetro	Determinar a curva característica de alguns materiais existentes na área estudada (estéril e fundação)	09	Camadas superficiais do estéril de itabirito e solo de fundação da PDE-05.
	Ensaio de permeabilidade	Estimar a condutividade hidráulica dos materiais (maciço das pilhas de estéril e fundação).	07	Instrumentos de monitoramento hidrogeotécnico existentes nas pilhas de estéril da mina (PDE-01, PDE-03, e PDE-05).
	Índice de vazios	Determinar o índice de vazios <i>in situ</i> subsidiando os parâmetros de entrada para o cálculo da Curva Característica do estéril a partir da retroanálise	04	Camadas superficiais do estéril de itabirito na área da PDE-05.
Em Laboratório	Caracterização física e classificação dos solos ¹²	Identificação das partículas constituintes do solo a partir das curvas granulométricas, limites de consistência, teor de umidade, densidade média dos grãos e índice de vazios.	06	Camadas superficiais e ombreira esquerda da PDE-05 sendo coletado material estéril e solo de fundação, respectivamente.
	Ensaio de adensamento	Determinar o coeficiente de adensamento (cv) e estimar a dissipação das poropressões geradas devido ao carregamento.	02	Ombreira esquerda da PDE-05 – material da fundação: solo residual quartzo-feldspato-xisto.
	Difração de raios-X	Identificação dos argilo-minerais existentes no estéril e no material da fundação da pilha.	04	Camadas superficiais e ombreira esquerda da PDE-05 sendo coletado material estéril e solo de fundação, respectivamente.

4.3.1. Ensaio de Campo

Em campo, foram realizados ensaios utilizando o permeâmetro de Guelph e ensaios do tipo relatado por Veloso (2000). Ambos os ensaios tiveram como objetivo estimar as propriedades hidrogeológicas e características do meio poroso para região saturada e não saturada a fim de permitir, com maior precisão, a criação de possíveis cenários para as análises de percolação de água na região da pilha.

¹² Foram realizados 3 ensaios para caracterização completa (incluindo granulometria com sedimentação, limites de Atterberg, densidade média e teor de umidade) e 3 ensaios para determinação do índice de vazios (mínimo, máximo, saturado do estéril).

Estimou-se também, a partir dos dados de testes de funcionamento dos instrumentos de monitoramento hidrogeotécnico (piezômetros), a condutividade hidráulica de alguns dos materiais existentes no subsolo da área em questão.

a) Permeâmetro de Guelph

O permeâmetro de Guelph é um aparelho leve e de fácil operação que possibilita a realização de ensaios *in situ* para obtenção da condutividade hidráulica saturada (Moreira, 1998). A condutividade deve ser determinada somente para regiões localizadas acima do lençol freático, a partir de uma carga de pressão constante, através da perfuração de um pequeno furo para instalação do equipamento.

Esta perfuração, de pequeno diâmetro, é feita com auxílio de um trado manual até a profundidade a ser ensaiada. Durante o ensaio e após algum tempo de aplicação da carga constante, uma pequena área em torno do furo estará saturada, formando um bulbo de saturação. Nesta região, o fluxo se torna constante possibilitando o cálculo do K_{fs} .

Na prática não se consegue a saturação total do solo, identificando-se duas hipóteses que explicariam a permanência de ar nos vazios do solo: (i) diferentes velocidades do avanço da frente de saturação; (ii) altos valores de sucção, inibindo em certas regiões o avanço da frente da saturação (Diene, 2004).

Entretanto, esta saturação de campo não se configura como uma desvantagem do ensaio, visto que a saturação total é muito difícil de ser atingida em uma situação real.

Na região da PDE-05, realizaram-se 18 ensaios utilizando o permeâmetro de Guelph, de maneira aleatória e dispersa ao longo das bermas de acesso da pilha, o que permitiu obter uma boa estimativa do valor da condutividade hidráulica saturada e não-saturada de campo para o material estéril. Além disso, foi executado um ensaio, na ombreira esquerda da pilha, no material composto pela alteração de rocha quartzo-feldspato-xisto.

As metodologias adotadas para a realização dos ensaios foram as propostas por Reynolds *et al.* (1983) e Elrick *et al.* (1989), com as quais, a partir da aplicação de uma carga constante por meio do permeâmetro de Guelph, obtêm-se as vazões de água infiltrada e, portanto, pode-se calcular a condutividade hidráulica de campo (K_{fs}) do material ensaiado.

A Figura 13 mostra o permeâmetro de Guelph durante a execução do ensaio no 1º banco da pilha de estéril PDE-05. Os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 1 a seguir.



Figura 13 – Execução do ensaio EN-6a utilizando o permeâmetro de Guelph, realizado no 1º banco. Ao fundo, vista do 2º, 3º e 4º bancos da pilha de estéril PDE-05.

Tabela 1 – Resultado dos ensaios utilizando o permeâmetro de Guelph na região da PDE-05 e entorno.

Nº Ensaio	Prof. (cm)	Data Execução	Local	K_{fs} (cm/s)
EN-01a	30,00	16/05/06	PDE-05 (3º banco - berma de acesso)	$2,86 \times 10^{-3}$
EN-01b	28,00	16/05/06	PDE-05 (3º banco - berma de acesso)	$1,09 \times 10^{-2}$
EN-02a	28,50	16/05/06	PDE-05 (3º banco - berma de acesso)	$6,78 \times 10^{-3}$
EN-02b	27,00	16/05/06	PDE-05 (3º banco - berma de acesso)	$1,02 \times 10^{-3}$
EN-03a	28,00	16/05/06	PDE-05 (2º banco - berma de acesso)	$9,50 \times 10^{-3}$
EN-03b	29,50	16/05/06	PDE-05 (2º banco - berma de acesso)	$1,57 \times 10^{-2}$
EN-04a	28,00	16/05/06	PDE-05 (2º banco - berma de acesso)	$2,44 \times 10^{-3}$
EN-04b	29,00	17/05/06	PDE-05 (2º banco - berma de acesso)	$2,92 \times 10^{-4}$
EN-05a	28,00	17/05/06	PDE-05 (2º banco - berma de acesso)	$3,98 \times 10^{-4}$
EN-05b	28,00	17/05/06	PDE-05 (2º banco - berma de acesso)	$1,30 \times 10^{-3}$
EN-06a	30,00	17/05/06	PDE-05 (1º banco - berma de acesso)	$1,77 \times 10^{-4}$

(continua)

Nº Ensaio	Prof. (cm)	Data Execução	Local	K_{fs} (cm/s)
EN-06b	30,00	17/05/06	PDE-05 (1º banco - berma de acesso)	$3,53 \times 10^{-4}$
EN-07a	30,00	17/05/06	PDE-05 (1º banco - berma de acesso)	$1,21 \times 10^{-3}$
EN-07b	29,00	17/05/06	PDE-05 (1º banco - berma de acesso)	$3,46 \times 10^{-3}$
EN-08a	28,00	18/05/06	PDE-05 (3º banco - berma de acesso)	$1,89 \times 10^{-2}$
EN-08b	27,00	18/05/06	PDE-05 (3º banco - berma de acesso)	$7,29 \times 10^{-4}$
EN-09a	30,00	18/05/06	PDE-05 (3º banco - berma de acesso)	$7,53 \times 10^{-4}$
EN-10a	49,00	20/07/06	PDE-05 (ombreira esquerda) – alt. rocha	$4,54 \times 10^{-3}$

Os valores encontrados nos ensaios com o permeâmetro de Guelph mostram que a condutividade hidráulica média (K_{fs}) do estéril de itabirito é da ordem de 2×10^{-3} cm/s. Este valor é condizente com as propriedades físicas destes materiais que possuem grande porcentagem de fração de areia. Entretanto, valores maiores podem ainda ser encontrados para o valor de K_{fs} em regiões de maior profundidade da pilha, devido principalmente, à natureza do método de disposição do estéril, que provoca a concentração de grandes blocos de rocha na base dos taludes.

As diferenças encontradas nos resultados dos ensaios de campo variam de 10^{-2} a 10^{-4} cm/s. De um modo geral, os menores valores encontrados para o K_{fs} , como por exemplo para o ensaio EN-06a, estão situados nas bermas de acesso inferiores, ou seja, nas regiões de disposição mais antigas. Pode-se explicar esta diferença devido ao tráfego de caminhões associado à incidência repentina de precipitações gerando um aumento do grau de compactação do material disposto e, conseqüentemente, a redução da permeabilidade.

Por outro lado, materiais dispostos recentemente encontram-se em estado relativamente fofo e com maior índice de vazios, o que facilita a infiltração da água (ensaio EN-08a).

b) Ensaios utilizando o procedimento descrito por Veloso (2000)

A partir dos procedimentos descritos por Veloso (2000), foram realizados, simultaneamente, alguns ensaios utilizando o tensiômetro e o permeâmetro de

Guelph, na região da PDE-05, a fim de se determinar dos parâmetros hidráulicos de solos não saturados.

A configuração do ensaio consistiu em escavar um furo de profundidade rasa (superficial) para colocação do permeâmetro de Guelph juntamente com o tensiômetro, o qual foi instalado a partir da cota de fundo do furo. Em seguida, aplicou-se uma carga constante qualquer no furo, utilizando o tubo de Mariotte do Guelph, sendo medida a variação da sucção (através do tensiômetro) ao longo do tempo (Velloso *et al.*, 2006). Segundo Velloso (2000), quanto maior o valor inicial de sucção obtido durante o ensaio mais confiáveis e representativos são os parâmetros de toda a curva característica calculada.

O tensiômetro é um instrumento simples e eficiente que permite obter a sucção do solo em campo. Ele é constituído por um tubo de PVC (polivinil clorídrico), de comprimento variável, preenchido com água desaerada, em cuja extremidade inferior há uma cápsula de porcelana porosa. É fechado hermeticamente na extremidade superior, onde se encontra um transdutor de pressão (ou manômetro) que permite a leitura (ou obtenção) das pressões geradas no interior do tubo, correspondendo estas à sucção ou à pressão hidrostática da água intersticial (Marinho, 1995).

Para os ensaios realizados na área da PDE-05 utilizou-se o tensiômetro modelo 2725, fabricado pela Soilmoisture Equipment Corp. e faixa de operação entre 0 a 100 kPa .

O diâmetro e a carga hidráulica aplicada para todos os ensaios foram de dez e cinco centímetros, respectivamente. No total foram realizados nove ensaios com o tensiômetro, sendo sete no material estéril de itabirito e os demais na alteração de rocha e solo residual. Nos ensaios realizados no estéril optou-se por variar a posição do tensiômetro (horizontal e vertical) de forma a avaliar possíveis diferenças nos parâmetros calculados.

Em resumo, as medidas de sucção do solo realizadas pelo tensiômetro ocorrem em virtude da geração de vácuo no interior do tubo de PVC, que está durante todo o ensaio hermeticamente fechado. Ao colocar a cápsula de porcelana do aparelho em contato com uma região na qual o solo encontra-se não saturado, haverá tendência da água existente no interior do tensiômetro percolar para o solo, de forma a atingir o equilíbrio do sistema. Entretanto, como o tubo encontra-se

fechado esta percolação não ocorre, salvo para as limitações de sucção do aparelho.

Dentre os nove ensaios realizados, apenas quatro foram utilizados para calcular a curva característica (Apêndice A), sendo três voltados para o estéril e um para alteração de rocha quartzo-feldspato-xisto. Os parâmetros não saturados obtidos a partir da retro-análise dos dados de campo de quatro ensaios são apresentados a seguir na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros dos materiais não saturados estimados a partir da retro-análise.

Nº Ensaio	Parâmetros obtidos					Local
	α	n	K_{sat} (cm/s)	θ_r	θ_s	
En_TEN-01	0,047	1,775	$2,48 \times 10^{-3}$	0,04	0,39	PDE-05 (4º banco- topo) - Estéril
En_TEN-02	0,062	1,662	$1,49 \times 10^{-3}$	0,04	0,39	PDE-05 (4º banco- topo) - Estéril
En_TEN-05	0,031	1,491	$1,95 \times 10^{-3}$	0,04	0,39	PDE-05 (banco em construção - entre o 3º e 4º) - Estéril
En_TEN-09	0,016	1,332	$1,79 \times 10^{-3}$	0,05	0,35	PDE-05 (ombreira esquerda) - Alteração de rocha

No mesmo local do ensaio En_TEN-09, foi também realizado um ensaio utilizando somente o permeâmetro de Guelph (EN-10a) para determinação da condutividade hidráulica de campo. Este procedimento permitiu comparar os valores calculados de K_{fs} para os dois ensaios, nos quais se pode observar uma pequena diferença entre o valor calculado a partir da retro-análise ($K_{fs} = 1,79 \times 10^{-3}$ cm/s) com o valor estimado no ensaio com o Guelph ($K_{fs} = 4,54 \times 10^{-3}$ cm/s).

Para todas as curvas características, calculadas a partir dos dados da retro-análise (material estéril e alteração de rocha), nota-se que a configuração destas curvas apresenta formas típicas de materiais arenosos. Materiais desta natureza possuem grandes poros que, para pequenos valores de sucção, são suficientes para reduzir o teor de umidade do material (Veloso, 2000).

Outra característica importante, e mencionada por Hillel (1971), é que, durante a drenagem, ocorre o esvaziamento rápido dos grandes poros, os quais perdem a propriedade de condutores à medida que a sucção é aumentada. Neste momento, a alta permeabilidade inicial deste material decresce abruptamente,

fornecendo, para situações de sucção elevada, valores de permeabilidade bem menores do que os obtidos em solos argilosos em mesma condição.

A Figura 14 ilustra o ensaio utilizando o tensiômetro e o permeâmetro de Guelph, simultaneamente, conforme procedimento descrito por Veloso (2000).

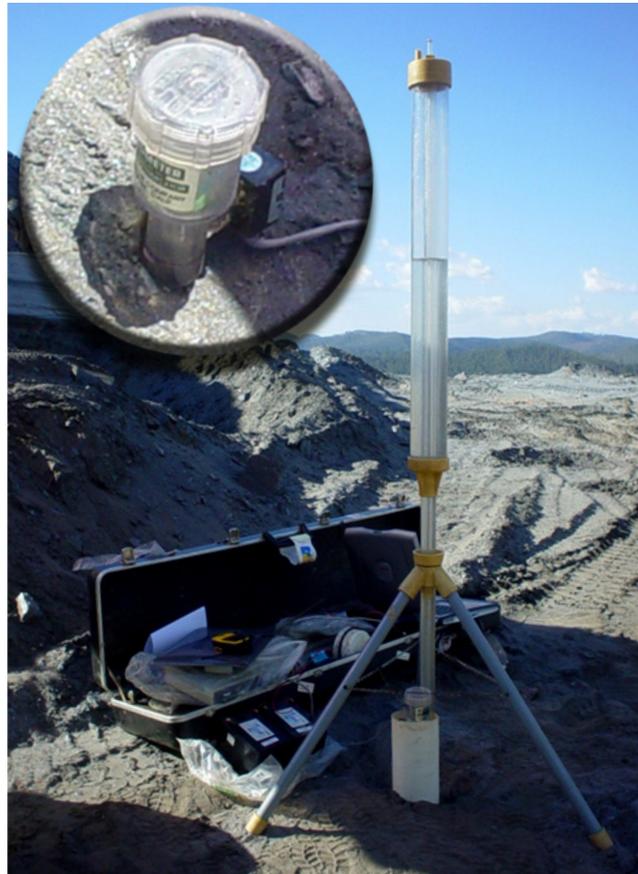


Figura 14 – Vista do ensaio utilizando simultaneamente o tensiômetro e o permeâmetro de Guelph, realizado no 3º banco da PDE-05, conforme procedimento proposto por Veloso (2000). No detalhe, tensiômetro cravado no estéril de itabirito.

c) Medida da condutividade hidráulica a partir dos testes de funcionamento dos instrumentos instalados

Ao final da execução das sondagens hidrogeotécnicas (VOGBR, 2006), foram realizados testes nos instrumentos instalados nas pilhas de estéril (indicadores de nível de água e piezômetros) para verificação de seu funcionamento. Tais dados consistem em medidas de infiltração de água nos instrumentos ao longo do tempo, mantendo-se uma carga constante igual à altura da boca do tubo do instrumento.

De posse destes dados, mediram-se os valores da condutividade hidráulica dos materiais nos quais estes instrumentos estão instalados (trecho referente ao pré-filtro). Estas medidas foram realizadas apenas para os piezômetros instalados nas PDE-01, PDE-03 e PDE-05 da mina do Andrade, totalizando 7 valores para a condutividade hidráulica do estéril de xisto, itabirito e solo residual de xisto. Os dados provenientes de medições feitas nos indicadores de nível de água foram descartados devido à dificuldade de se estimar tal propriedade, pois os estes encontravam-se parcialmente saturados e conectados a diferentes materiais.

Para o cálculo das condutividades, adotou-se o procedimento recomendado pela ABGE (1996), utilizando-se para isso as medidas de infiltração de água ao longo do tempo (vazão) e os dados dos perfis construtivos dos instrumentos instalados. Os valores medidos para o cálculo da condutividade hidráulica nos piezômetros são apresentados na Tabela 3, a seguir.

Tabela 3 – Valores medidos para o cálculo da condutividade hidráulica realizados nos piezômetros existente nas pilhas de estéril da mina do Andrade.

Local (pilha)	Nº Instrumento	Trecho		Prof. N.A. (m)	Litologia	K _{fs} (cm/s)
		De (m)	Até(m)			
PDE-01	PZANPE1-01	10,50	14,00	3,57	Estéril xisto	3,17x10 ⁻⁵
PDE-03	PZANPE03-01	7,40	10,90	6,99	Estéril (xisto/itabirito)	3,21x10 ⁻⁴
	PZANPE03-02	21,80	25,00	13,05	Solo residual xisto	1,49x10 ⁻⁵
	PZANPE03-03	31,00	34,20	33,44	Estéril (xisto/itabirito)	4,47x10 ⁻⁴
	PZANPE03-04	23,30	29,80	13,37	Solo residual xisto	5,99x10 ⁻⁵
	PZANPE03-05	6,30	9,50	8,26	Estéril (xisto/itabirito)	1,29x10 ⁻³
PDE-05	PZANPE5-02	37,50	41,00	14,30	Solo residual xisto (fundação)	4,23x10 ⁻⁵

Apesar da pequena quantidade de ensaios realizados, observa-se que os valores de K_{fs} para o estéril e o solo residual, ambos provenientes de xisto, possuem valores da condutividade hidráulica próximos e de mesma ordem de grandeza (K_{fs} = 10⁻⁵ cm/s).

As diferenças encontradas nos ensaios realizados em trechos contendo porções de estéril de itabirito e de xisto se devem à presença em maior ou em menor quantidade de material no trecho ensaiado. Para o estéril de itabirito e para

o estéril de xisto os valores esperados para o K_{fs} são da ordem de 10^{-3} cm/s e 10^{-6} cm/s, respectivamente (Apêndice A).

Os valores de K_{fs} obtidos no ensaio de permeabilidade utilizando o permeâmetro de Guelph permitiram identificar uma diferença de duas ordens de grandeza entre os valores de condutividade hidráulica obtidos para o solo residual de xisto ($K_{fs} = 4,23 \times 10^{-5}$ cm/s) e para o da rocha alterada ($K_{fs} = 4,54 \times 10^{-3}$ cm/s). Estas diferenças são atribuídas às variações existentes nas estruturas do meio poroso do solo e da rocha alterada, aos efeitos de escala, bem como às limitações de cada ensaio, e se mostraram coerentes quando comparadas à diferença entre os valores esperados (3 ordens de grandeza).

4.3.2. Ensaio de Laboratório

O objetivo dos ensaios de laboratório complementar foi primeiramente o de identificar os principais constituintes do solo e do estéril encontrados na PDE-05 e em suas adjacências, mas que não foram caracterizadas em etapas anteriores de estudo da área.

Outro objetivo buscado foi também o de confirmar a possibilidade ou não da geração de poro-pressão devido à disposição de estéril na PDE-05 e, conseqüentemente, o adensamento lento do material de fundação, podendo ser esta a principal causa da geração de sub-pressões nesta pilha.

Desta maneira, optou-se por realizar ensaios de caracterização completa (granulometria e limites de Atterberg), índice de vazios máximo e mínimo e adensamento edométrico em corpos de prova inundados. Para o material estéril foram coletadas duas amostras deformadas (AM-01 e AM-02) da superfície da pilha. Para o material de fundação foi extraído um bloco contendo uma amostra indeformada (AM-03), conforme apresentado na Figura 15. Todo esse material foi ensaiado no Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio, obedecendo às metodologias contempladas nas normas técnicas da ABNT entre outras especificações.



Figura 15 – Vista do bloco AM-03 de amostra indeformada extraída da ombreira esquerda da PDE-05. Material classificado como solo residual com alterações de rocha (quartzo-feldspato-xisto).

Além dos ensaios de laboratório, foram preparadas quatro lâminas para realização de testes de difração de raios-X, a fim de se identificar os argilo-minerais existentes tanto para o material o estéril (amostras AM-01 e AM-02) como da fundação da pilha (amostra AM-03).

a) Caracterização física e classificação dos solos

- Material estéril de itabirito: as amostras deformadas AM-01 e AM-02 coletadas da superfície da PDE-05 apresentaram predominância da fração arenosa, sendo classificadas como areias silto-argilosas de granulometria muito uniforme. As distribuições granulométricas médias destas duas amostras possuem cerca de 3% de argila, 13% de silte, 69% de areia e 15% de pedregulho, além de possuírem índice de plasticidade nulo.

A densidade média dos grãos é de $4,12\text{g/cm}^3$, considerada razoável devido à presença de teores elevados de hematita (estéril de itabirito).

O índice de vazios mínimo e máximo foi de 0,79 e 1,56, respectivamente, para condição não saturada. Foi calculado também o índice de vazios mínimo para a uma amostra moldada em condição saturada, obtendo-se o valor de 0,34.

Para a validação dos valores encontrados em laboratório, extraiu-se, *in situ*, quatro amostras do material estéril, cravando-se um anel de volume conhecido, seguido da pesagem do material existente no interior de cada anel, em laboratório, obtendo-se um valor médio para o índice de vazios *in situ* igual a 0,35.

- Solo residual de xisto com porções de alteração de rocha quartzo-feldspato-xisto: na ombreira esquerda da PDE-05 foi extraído um bloco de amostra indeformada denominada como AM-03, que, ao apresentar predominância da fração arenosa, pode ser classificada como areia silto-argilosa de granulometria muito uniforme. A distribuição granulométrica desta amostra possui cerca de 9% de argila, 11% de silte, 74% de areia e 6% de pedregulho, além de possuírem índice de plasticidade nulo. A densidade média relativa dos grãos foi de $2,65\text{g/cm}^3$.

É importante ressaltar que para ambos os materiais, estéril e solo residual, os limites de consistência mostraram-se com uma característica não plástica, devido ao fato de o quartzo ser o mineral predominante encontrado na fração areia e pequena existência da fração de finos (silte e argila inferior a 20%).

A Figura 16 apresenta as curvas granulométricas das amostras AM-01, AM-02 e AM-03 retiradas na área da PDE-05 e adjacências.

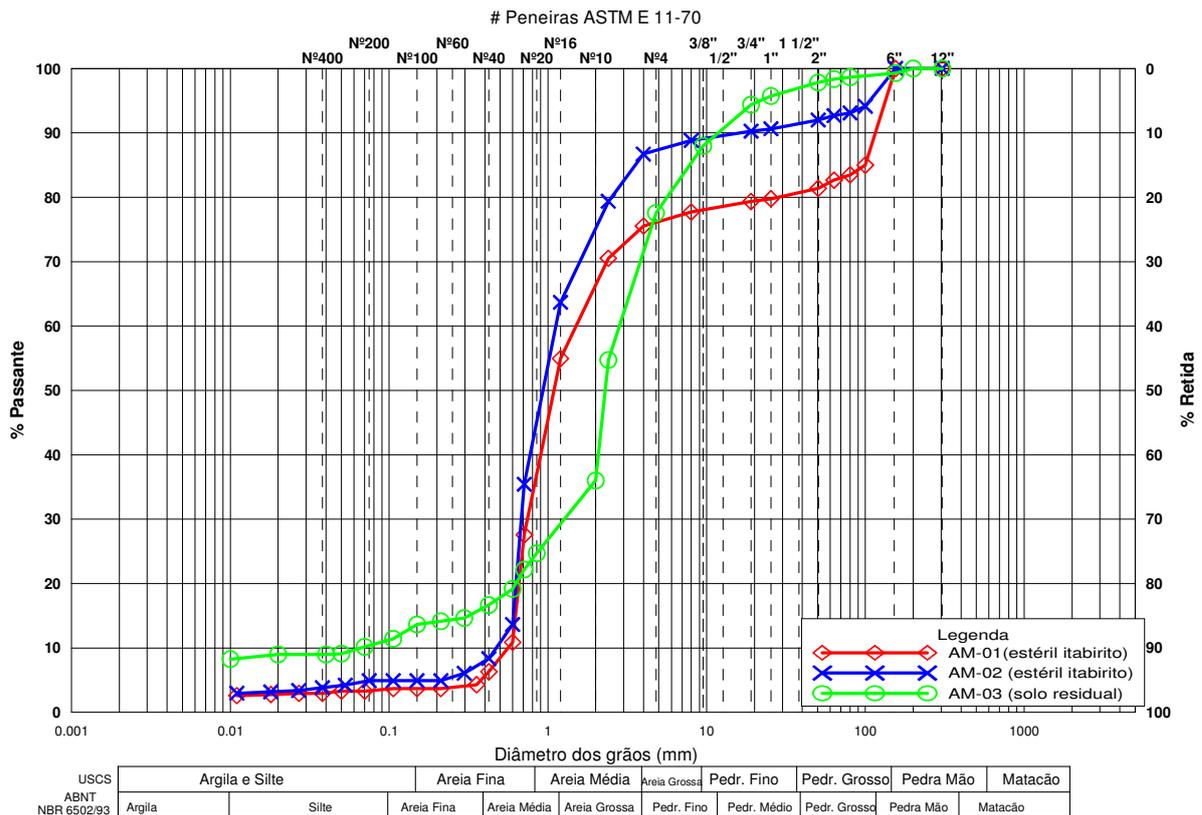


Figura 16 - Curvas granulométricas das amostras de estéril de itabirito (AM-01, AM-02) coletadas na superfície da PDE-05 e de solo residual com porções de alteração de rocha quartzo-feldspato-xisto (AM-03) coletadas na ombreira esquerda da pilha.

b) Ensaio de adensamento convencional

Foram moldados dois corpos de prova (CPs) extraídos a partir da amostra indeformada AM-03, localizada na ombreira esquerda da PDE-05 (coordenadas UTM N 7.811.695 / E 689.462). Ambos CPs foram ensaiados sob condições nas quais a amostra permaneceu inundada desde o início dos carregamentos, com a finalidade de determinar o coeficiente de adensamento do solo (c_v) e de avaliar quanto tempo o material da fundação da pilha levaria para dissipar o excesso de poro pressão gerado à disposição de estéril.

Os corpos de prova foram preparados com a utilização de anéis rígidos com dimensões de 10,10 cm de diâmetro e 3,00 cm de altura. As aparas resultantes da talhagem foram utilizadas na determinação da umidade inicial de cada corpo de prova e, a partir da pesagem dos corpos de prova, juntamente com os anéis, determinaram-se as massas específicas naturais.

O carregamento foi feito em estágios de tensão com duração de vinte e quatro horas cada um. Em cada novo estágio, a carga acrescentada era aplicada de forma a dobrar a pressão exercida sobre o corpo de prova no estágio anterior,

exceto para as situações nas quais o valor do carregamento não seria ideal para a execução do ensaio (colocação e retirada das cargas).

O carregamento foi conduzido até a definição da reta de compressão virgem, limitando-se a uma pressão máxima de 1200 kPa, e o descarregamento foi feito em cinco estágios, preservando-se o mesmo tempo de duração de cada estágio.

A Figura 17 ilustra as curvas de adensamento do par de ensaios, na condição inundada, da amostra AM-03.

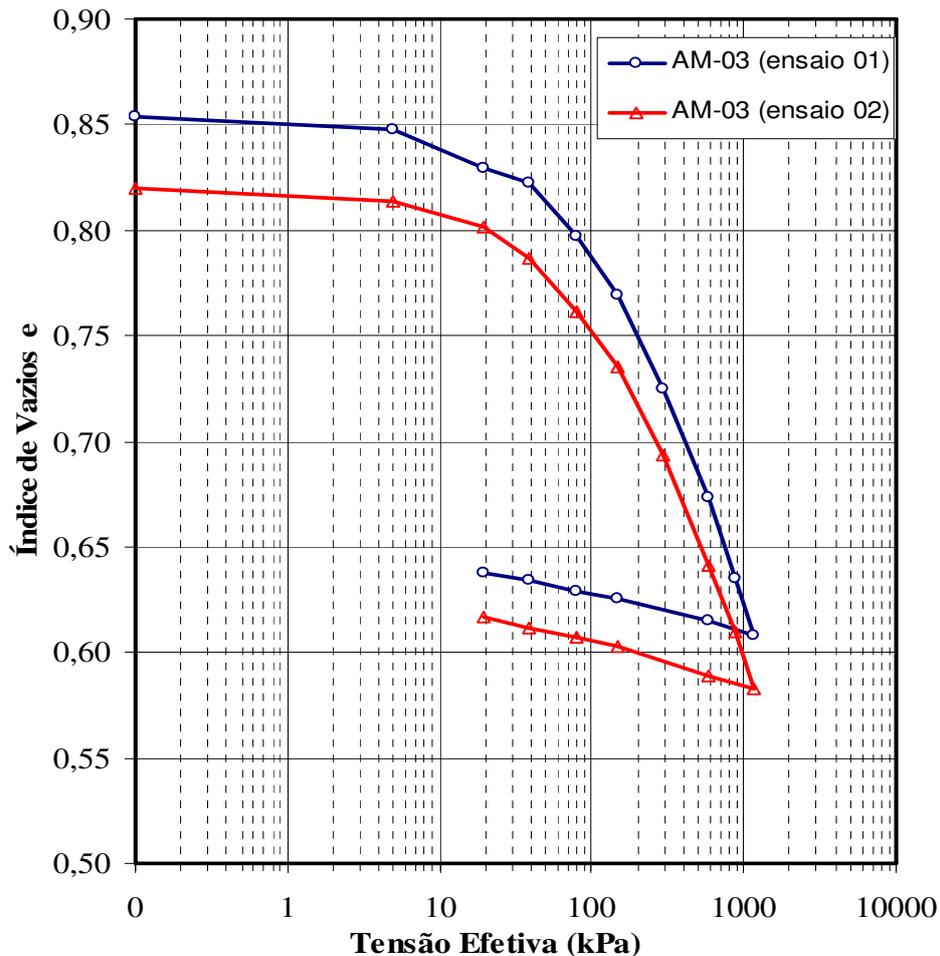


Figura 17 - Curvas de adensamento do par de ensaios na condição inundada extraída da amostra AM-03. Material ensaiado: solo residual de xisto com porções de alteração de rocha quartzo-feldspato-xisto (ombreira esquerda da PDDE-05).

O valor do coeficiente de adensamento encontrado para os dois ensaios calculado pelo método de Taylor foi de 14,2 cm^2/s e 14,6 cm^2/s para um carregamento de 1177 kPa. Para estes valores, o excesso de poro pressão gerado pelo carregamento é dissipado rapidamente, ficando descartada a hipótese da geração de sub-pressão na fundação da pilha relacionada a este fato, o que

apresenta coerência em relação à classificação do solo, que é composto por porções arenosas elevadas.

c) Identificação mineralógica a partir de difratometria de raios-X

A partir dos resultados de quatro lâminas orientadas por meio de difração raios-X (DRX), pôde-se identificar os principais minerais existentes nas amostras do material existente na PDE-05 (estéril de itabirito) e em sua fundação (solo residual de xisto com porções de rocha alterada quartzo-feldspato-xisto).

O ensaio referente às amostras de solo foi realizado no laboratório do DCMM¹³ sendo as análises e os demais ensaios (material estéril) realizados pela equipe do CDTN¹⁴. Para ambas as amostras, utilizou-se o método do pó para obtenção dos difratogramas de raios-X.

Nas amostras referentes ao estéril constatou-se a predominância do mineral quartzo e hematita. Foram identificados também os minerais caulinita, magnetita e moscovita em quantidade inferior a três por cento da amostra total. Nas lâminas compostas por solo residual pôde-se observar a predominância do mineral quartzo, gibbsita e microlina. Cerca de 10% destas amostras de solo, observa-se também o argilomineral caulinita. Os resultados da difratometria de raios-X encontram-se no Apêndice A, deste trabalho.

O Quadro 7 apresenta os principais minerais e suas porcentagens encontradas nas lâminas quatro lâminas orientadas por meio de DRX.

¹³ DCMM – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio.

¹⁴ CDTN – Centro de Desenvolvimento Tecnológico Nuclear é uma instituição dedicada à pesquisa nuclear e pertence à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Quadro 7 – Resultado da difratometria de raios-X nas amostras da PDE-05.

Amostra	Mineral Identificado ¹⁵			
	Predominante (>40%)	Maior (<30%)	Menor (<10%)	Minoritário (<3%)
AM-01 (estéril)	Quartzo	Hematita	-	Caulinita Magnetita Moscovita
AM-02 (estéril)	Quartzo	Hematita	-	Caulinita Magnetita
AM-03 (solo residual)	Quartzo	Gibbsita	Albita Caulinita Microclina	Dolomita Goethita Muscovita
	Gibbsita	Microlina	Caulinita Quartzo	Goethita

Ressalta-se que os minerais identificados no método DRX apresentam valores de densidade média relativa dos grãos compatíveis com os encontrados nos ensaios de caracterização completa em laboratório, mostrando uma coerência entre ambas as análises.

¹⁵ Albita: $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$; Caulinita: $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$; Dolomita: $(\text{Ca,Mg})(\text{CO}_3)_2$; Goethita: FeO.OH ; Gibbsita: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3.3\text{H}_2\text{O}$; Hematita: Fe_2O_3 ; Magnetita: Fe_3O_4 ; Microclina: KAlSi_3O_8 ; Moscovita: $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$; Quartzo: SiO_2 .

5 Modelo Conceitual de Fluxo Subterrâneo

O modelo conceitual é uma representação esquemática simplificada do sistema de fluxo subterrâneo, devido à dificuldade de reconstrução de um cenário idêntico ao existente contendo todas as características da área estudada.

Anderson e Woessner (1992) sugerem que seja feita primeiramente uma simplificação do problema, obtendo-se uma idéia geral de como a água subterrânea se comporta no meio poroso ou fraturado. Nesta etapa de estudo é importante definir os seguintes itens: unidades hidroestratigráficas representativas; valores de recarga do aquífero; e o sistema atual de fluxo subterrâneo.

É importante ressaltar que a descrição destes itens principais que configuram o modelo conceitual da região em estudo será realizada em consonância com as sugestões de Anderson e Woessner (1992).

5.1. Unidades Hidroestratigráficas

O sistema aquífero referente à área de abrangência do estudo foi inicialmente compreendido a partir das observações da tipologia dos materiais perfurados pelas sondagens rotativas e exploratórias. A partir daí, a caracterização do sistema hídrico pôde ser extrapolada para o restante dos materiais, sendo definidas as unidades hidroestratigráficas da área em questão.

As unidades hidroestratigráficas representativas dos aquíferos da região foram definidas utilizando as unidades geológicas identificadas pelo reconhecimento de campo, perfis de sondagem (*logs*), testes de infiltração realizados em alguns piezômetros, mapas e modelos geológicos da mina, como também a partir de referências bibliográficas, para o caso das propriedades hidráulicas dos materiais que não foram passíveis de caracterização pelas investigações de campo.

Assim sendo, foram identificadas seis unidades hidroestratigráficas, descritas a seguir de acordo com as unidades litológicas reconhecidas na área:

a) Unidade I: depósitos coluvionares, canga e solos residuais

Os depósitos coluvionares e solos residuais são formados por uma espessura variável de 3 m a 20 m. Eles se encontram distribuídos principalmente nos talvegues de drenagem, sendo menos expressivos nas regiões de cotas topográficas elevadas, nas quais a rocha, para alguns casos, encontra-se aflorante. Os depósitos podem ocorrer também nas demais regiões da área em estudo. Em algumas regiões de relevo mais abatido e, conseqüentemente, de menor gradiente hidráulico, evidencia-se o surgimento de nascentes nesta unidade, devido ao acúmulo de água no contato desta unidade de pequena espessura com o topo rochoso sotoposto e impermeável.

Segundo Grandchamp (2003), esta unidade é muito sensível às taxas de precipitação pluviométrica do período chuvoso, podendo formar um sistema aquífero raso ou localizado em áreas de depressões do terreno, com restituição de águas perenizadas, mas com grande variação sazonal (Mourão, 2005). Ensaio de campo (Apêndice A) realizados neste material forneceram valores de condutividade hidráulica da ordem de 1×10^{-3} a 6×10^{-5} cm/s.

b) Unidade II: hematitas e itabiritos friáveis da formação Cauê

A unidade estratigráfica representada pela formação Cauê é constituída por um corpo contínuo que constitui os dois flancos do sinclinal Andrade (GOLDER, 2005), formando um aquífero heterogêneo e anisotrópico (hematitas e itabiritos friáveis e compactos), em função da composição mineralógica e do nível de intemperismo sofrido nestas regiões.

As hematitas e itabiritos friáveis são rochas alteradas e de porosidade intersticial, em conseqüência dos processos de formação do minério de ferro a partir da lixiviação da sílica e dos carbonatos.

O aumento da porosidade do material, resultante do processo de lixiviação, cria ambientes favoráveis para o armazenamento e circulação de água (Grandchamp, 2003) no qual se estima haver espessuras médias de 25 m exceto para a área da cava do Pico, onde a espessura desta unidade pode chegar até 82 m (sondagem FDDE0067).

No caso das hematitas e itabiritos compactos, estes foram separados desta unidade hidroestratigráfica por possuírem características hidráulicas diferenciadas, fazendo parte da terceira unidade proposta neste modelo conceitual.

Vale ressaltar que as rochas itabiríticas friáveis da formação Cauê representam um sistema aquífero de potencial elevado. De acordo com Grandchamp (2003), para a mina de Águas Claras¹⁶, os valores de condutividade hidráulica encontrados no aquífero da formação Cauê são da ordem de 1×10^{-2} a 4×10^{-4} cm/s.

c) Unidade III: hematita e itabiritos compactos da formação Cauê e embasamento cristalino de gnaiss

Hematitas e itabiritos compactos pouco alterados apresentam valores de porosidade reduzida e permeabilidade secundária baixa, condicionada basicamente pelo grau de fraturamento e alteração. Acredita-se que esta unidade funcione como uma barreira impermeável ao fluxo subterrâneo, já que o elemento fundamental para o escoamento por estes materiais são as fraturas.

Em várias das sondagens exploratórias descritas, pode-se observar que os itabiritos compactos da região contemplada são rochas de baixo grau de fraturamento, não hidratadas e de porosidade praticamente inexistente.

Semelhante ao itabirito compacto, o embasamento cristalino formado por rochas duras e maciças (gnaisses) constituem a predominância de uma rocha do tipo sã, pouco fraturada ou com fraturas fechadas, o que lhes confere permeabilidade muito baixa (GOLDER, 2005). Estas rochas se encontram sotopostas aos xistos nas regiões mais elevadas, e aflorantes nas regiões mais próximas ao rio Santa Bárbara. As relações de contato desta litologia são quase sempre definidas por discordâncias erosivas e, também, por relações tectônicas de falhamentos.

¹⁶ Mina de Águas Claras, de propriedade da MBR – Minerações Brasileiras Reunidas S/A, situada na Serra do Curral, município de Nova Lima-MG.

d) Unidade IV: xistos indivisos

Esta unidade é representada pelos xistos indivisos de grau de fraturamento variando entre baixo a médio. Nos xistos observam-se características de aquíferos, cujas camadas argilosas dificultam a transmissão da água subterrânea, devido à baixa permeabilidade. O xisto funciona como uma barreira física, que dificulta a comunicação da água com a camada de quartzito das formações adjacentes, como foi presenciado em algumas leituras nas quais se notou elevação do nível de água nos instrumentos de monitoramento hidrogeológico INA-AN 04/05 (N.A = 1037,0 m) e PZ-AN 07/05 (N.A = 1058,0 m), próximos às cotas topográficas do topo da serra.

Além disso, em alguns perfis de sondagem, observam-se porções mais superficiais (prof. 10,6 m) desta unidade em condições altas de hidratação, como evidenciado no furo FD-DE0013. Porém, ao contrário disso, em maiores profundidades (prof. 211,5m) e, em regiões de baixo grau de fraturamento, a hidratação neste mesmo furo é praticamente inexistente.

Pode-se supor que o escoamento é lento nesta unidade e condicionado ao grau de intemperização ou fraturamento, possuindo uma permeabilidade secundária da ordem de 10^{-5} a 10^{-6} cm/s (Freeze e Cherry, 1979).

e) Unidade V: quartzitos da formação Moeda

Os quartzitos são representados por rochas quartzíticas associadas à formação Moeda, a qual é marcada por fraturas e falhas, sugerindo condições de percolação subterrânea profunda e eventual intercomunicação hidráulica com os demais sistemas aquíferos. Sua espessura varia entre 2,0 m e 70,0 m.

A recarga nesta unidade se faz de forma direta pelos sistemas de fratura, principalmente nas porções laterais da cava Cabral, constituídos pelos dois flancos do sinclinal Andrade e na porção SW da cava, próximos à charneira do desse sinclinal onde a rocha é aflorante (GOLDER, 2005). Em profundidade, esta unidade encontra-se confinada pela unidade IV. A percolação da água subterrânea ocorre pelos sistemas de fraturamento, não existindo grandes contribuições provenientes da unidade sobreposta a ela, formada pelos xistos e anfíbolitos.

Informações sobre as características hidrodinâmicas deste sistema quartzítico são deficientes, pois se apresentam valores de condutividade hidráulica da ordem de 10^{-3} a 10^{-5} cm/s (Freeze e Cherry, 1979).

f) Unidade VI: material estéril

Existem atualmente cinco pilhas de estéril na mina do Andrade, sendo que as PDE-01, PDE-04 e PDE-05 são basicamente formadas por estéril de itabirito, enquanto as pilhas PDE-02 e PDE-03 são compostas por estéril de xisto, exceto para a região do talvegue próximo à linha férrea da PDE-03, a qual contém material proveniente de itabirito.

Desta maneira, devido à heterogeneidade e à anisotropia do material estéril em relação às propriedades hidráulicas, dividiu-se esta unidade hidroestratigráfica em duas subunidades conforme apresentado a seguir:

- Subunidade formada pelo estéril de itabirito constituído principalmente de um material com granulometria arenosa com pequenas porções silto-argilosas e pedregulhos. É um material mal consolidado e de alta condutividade hidráulica, no qual foram obtidos valores da ordem de 10^{-2} a 10^{-4} cm/s a partir dos resultados dos ensaios com o permeâmetro de Guelph realizados na camada superficial deste estéril (Apêndice A);
- Subunidade formada pelo estéril de xisto constituído por um material de granulometria mais argilosa e condutividade hidráulica calculada a partir de ensaios de permeabilidade (Apêndice A) variando entre 10^{-5} a 10^{-6} cm/s.

5.2. Recarga

Para o cálculo da recarga optou-se por realizar um balanço hídrico simplificado a partir dos dados oriundos das estações pluviométricas locais da mina do Andrade (operada pela CVRD), Usina Peti (operada pela ANA) e duas estações climatológicas operadas pelo INMET: Belo Horizonte e Caratinga.

O balanço hídrico foi realizado mensalmente conforme proposto por Thornthwaite (1948):

$$R = P - D - Evap + \Delta V \quad (5.1)$$

Onde:

- R é a recarga média mensal, em mm;
- P é a precipitação média mensal, em mm;
- D é o deflúvio superficial médio mensal, em mm;
- Evap é a evapotranspiração real média mensal, em mm;
- ΔV é a variação média mensal do armazenamento de água no solo, em mm.

Para uma área localizada na porção leste da Austrália, Greaner (1997) estimou o valor do deflúvio para áreas íngremes como uma porcentagem do valor total da precipitação total, variável em função da estação chuvosa e de estiagem. De maneira similar ao método proposto por Greaner, adotaram-se fatores para cálculo do deflúvio, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Fatores adotados para cálculo do deflúvio para a área em estudo a partir dos fatores sugeridos por Greaner (1997) em função dos valores de precipitação mensal.

Período	Fator	Meses
chuvoso	0,6	Nov / Dez / Jan
intermediário	0,5	Fev / Mar / Abr / Mai / Set / Out
estiagem	0,2	Jun / Jul / Ago

A evapotranspiração real foi estimada em 80% do valor da evaporação total medida no tanque classe A, conforme sugerido por Reichardt e Timm (2004).

A variação média do armazenamento no solo foi negligenciada, considerando-se que esta parcela será incorporada à evapotranspiração no balanço, conforme a fase em que se encontre a pilha (solo exposto ou revegetado).

Portanto, o balanço ora utilizado é função direta da precipitação e da evaporação. Uma vez que os valores de precipitação possuem variação anual e sazonal bem mais expressiva que os valores de evaporação, o balanço foi realizado em três cenários variáveis em função da precipitação, de forma a determinar condições mínimas, médias e máximas de recarga.

Esses cenários foram determinados através da seleção da série anual (janeiro a dezembro) que apresentava:

- O menor valor de chuva média mensal, para o cenário mínimo;
- O valor médio histórico de chuva média mensal, para o cenário médio;
- O maior valor de chuva média mensal, para o cenário máximo.

A Tabela 5, exposta a seguir, apresenta os valores de precipitação, evaporação e deflúvio superficial mínimo, médio e máximo mensal, juntamente com o balanço hídrico simplificado para cálculo do valor de recarga da área modelada.

Com base na Tabela 5 apresentada, verifica-se que a linha “Excedente” (item “P - D”) apresenta o valor resultante da diferença entre precipitação e deflúvio mensal, obtidos entre os anos de 1979 e 2005. A linha “Recarga” (item “R”) e “Evapotranspiração real” (item “Evap”) foram obtidas em conjunto, procurando distribuir o excedente, tendo em vista o valor limitador da evaporação média mensal (item “Ev”).

Como se observa, o balanço para o cálculo da recarga média foi positivo entre os meses de janeiro a março e no mês de novembro. Porém, para os demais meses, isto é, de abril a outubro e em dezembro, os valores da linha “Excedente” foram menores que os calculados na linha “Evapotranspiração real”, sendo, portanto, desconsiderados os negativos de recarga.

O valor obtido para a recarga anual mínima, máxima e média foi de 48, 349 e 147 mm, respectivamente. De fato, estes valores fornecem uma estimativa preliminar para o valor da recarga do aquífero, mas aceitável tendo em vista o objetivo de apenas reproduzir as condições extremas de recarga às quais a PDE-05 está submetida através de uma faixa de valores para a recarga a ser utilizada como dado de entrada dos modelos computacionais utilizados neste trabalho.

Na Tabela 5, observa-se ainda que o balanço hídrico da região é bastante sensível às condições pluviométricas, identificando-se épocas de recarga e desaguamento dos sistemas aquíferos presentes.

Tabela 5 – Balanço hídrico simplificado para área da mina do Andrade.

Item	Fenômeno	Série	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual	
P	Precipitação (mm)	mínima (2001)	105	1	173	4	85	1	6	1	6	51	208	248	889	
		máxima (1992)	533	128	20	67	55	11	8	12	47	182	214	664	1940	
		média (1991)	382	189	200	28	47	6	6	8	121	75	246	31	1339	
D	Deflúvio Superficial (mm)	mínima (2001)	63	0	87	2	42	0	1	0	3	25	125	149	499	
		máxima (1992)	320	64	10	33	28	2	2	2	23	91	128	398	1101	
		média (1991)	229	95	100	14	23	1	1	2	61	37	148	19	729	
(P - D)	Excedente (mm)	mínima (2001)	42	0	87	2	42	1	5	1	3	25	83	99	391	
		máxima (1992)	213	64	10	33	28	9	7	10	23	91	85	265	838	
		média (1991)	153	95	100	14	23	5	5	6	61	37	99	12	610	
Ev	Evaporação (mm)	média	90	91	96	84	91	84	95	118	123	112	96	85	1164	
Evap	Evapotranspiração real em mm (0,8Ev)	média	72	73	77	67	73	67	76	94	98	89	76	68	931	
R	Recarga em mm (P - D - Evap) ¹⁷	mínima (2001)	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	7	31	48	
		máxima (1992)	141	17	0	0	0	0	0	0	0	0	2	9	197	349
		média (1991)	80	22	23	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	147

¹⁷ Os valores de recarga iguais a zero são decorrentes de situações nas quais o valor da evapotranspiração potencial (Evap) excede o valor de água disponível para infiltração (P-D), não sendo possíveis valores de recarga negativos.

5.3. Condições Atuais de Fluxo

A região do Quadrilátero Ferrífero foi marcada por grandes eventos tectônicos responsáveis pela formação de um relevo acidentado e escarpado, apresentando em seu substrato grandes lineamentos e zonas fraturadas (GOLDER, 2005).

No contexto da mina do Andrade, verifica-se fato semelhante, evidenciado pelas estruturas geológicas e potencial de erodibilidade de alguns litotipos que conformaram o relevo onduloso principalmente nas regiões do sinclinal e anticlinal Andrade.

Estes esforços de compressão (falhas) provenientes de épocas passadas atribuíram às rochas que estão presentes nesta região uma permeabilidade secundária, à qual o escoamento das águas subterrâneas está condicionado.

O fluxo subterrâneo da área em estudo ocorre no sentido SW-NE, em direção ao rio Santa Bárbara (elevação 560 m). A zona de recarga da área está localizada ao longo dos divisores topográficos (elevação 1100 m), formando um divisor hidráulico imaginário a partir das camadas de quartzito e itabiritos friáveis aflorantes. A água infiltrada nestas regiões contribui para o abastecimento e a manutenção dos aquíferos locais da área, os quais, de um modo geral, estão localizados nas regiões de ocorrência do sinclinal Andrade.

Há ocorrência, em menor escala, de infiltração de água por uma pequena camada de solo residual ou nos depósitos coluvionares pouco espessos encontrados, variando de espessura de 1,0 m a 11,0 m. Estas unidades funcionam como aquífero intersticial, o qual recebe a água infiltrada proveniente da precipitação direta e a redistribui através das fraturas nas rochas sotopostas a ela.

Localmente, este sistema encontra-se compartimentado em unidades aquíferas separadas por barreiras hidráulicas, constituídas por itabiritos compactos e xistos de baixo grau de fraturamento, como se verifica na região em que se encontra implantada a PDE-05. Observa-se nesta região que o nível de água subterrânea se encontra em média na elevação 810 m, valor medido no indicador de nível de água NA-ANPE5-03.

Entretanto, as leituras piezométricas da fundação da pilha realizadas no piezômetro PZ-ANPE5-01, posicionado ao lado deste instrumento, fornecem valores médios de 821 m, ou seja, indicam artesianismo e, portanto, a presença de

dois sistemas aquíferos: um livre e outro semi-confinado, no sistema hidrogeológico local.

Observa-se nas adjacências da área em estudo a presença de uma nascente localizada próxima à PDE-01. Esta nascente encontra-se protegida por manilha de concreto localizada no contato entre o solo residual e o itabirito, fornecendo água ao escritório da mina, com vazão calculada de 3,6 L/min (GOLDER, 2005). Verifica-se também no “pé” da pilha PDE-05 o surgimento de água subterrânea com vazão calculada de 141 L/min.

Esta vazão foi calculada através da construção de um pequeno barramento de terra sobre a calha da drenagem, o qual era atravessado por um tubo de PVC de 100mm, por onde a água era conduzida até um balde graduado. As medições de vazão foram realizadas aplicando método direto conforme a equação 5.2 (relação entre o volume de água escoado e o tempo correspondente), sendo realizadas pelo menos 5 medidas e adotando-se como valor final a média dos valores obtidos.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (5.2)$$

Onde:

- Q é a vazão (L/min.)
- V é o volume escoado (L)
- t é o tempo total gasto (min.)

A Figura 19 mostra uma seção típica representativa do modelo hidrogeológico conceitual proposto, indicando as unidades hidroestratigráficas mais representativas. A configuração proposta para a geologia do local foi realizada a partir da extrapolação das informações provenientes das sondagens, indicando a existência de uma barreira física para o fluxo subterrâneo. Esta barreira, formada pelo itabirito compacto, reflete a existência de um córrego ou rio na região da PDE-05, que é confirmada pela existência do córrego Derrubada.

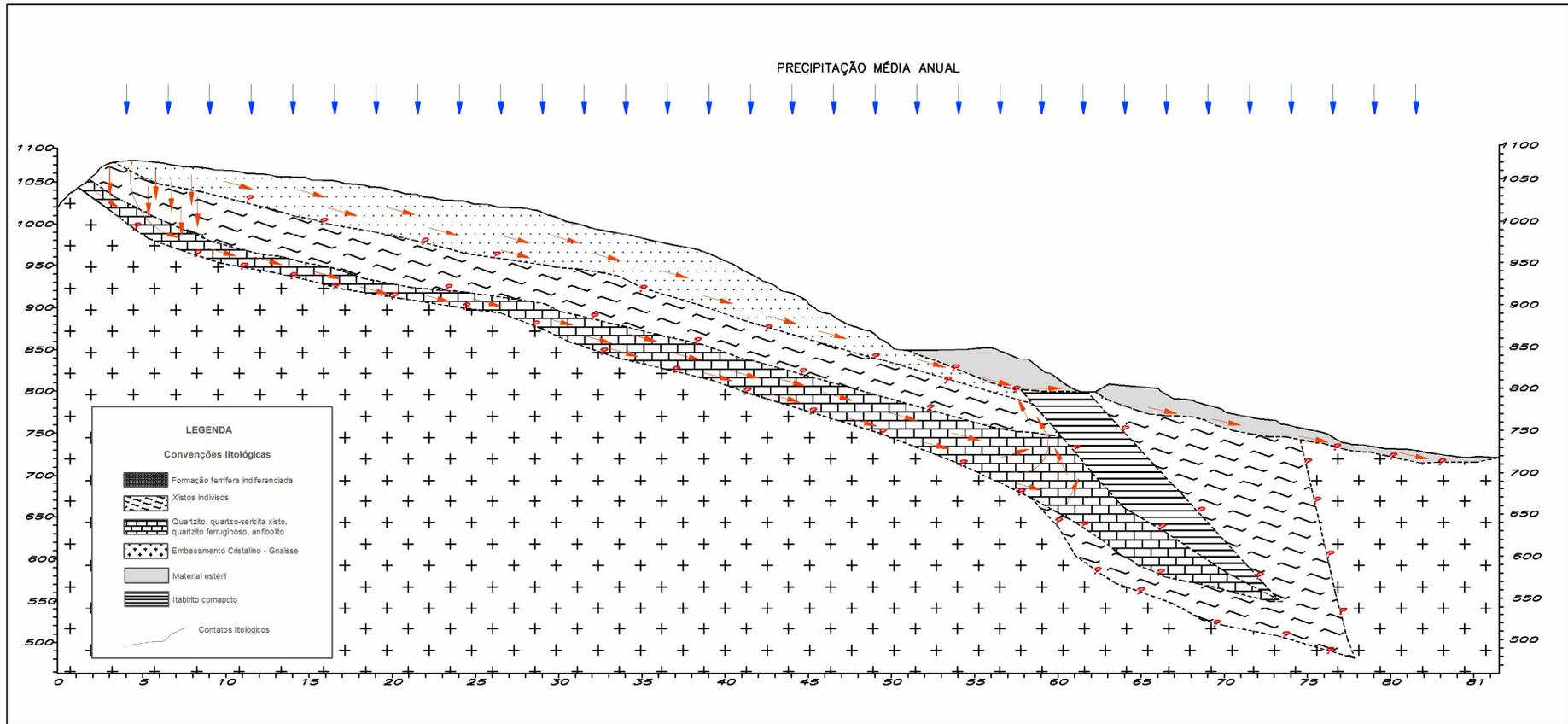


Figura 18 – Esquema representativo do modelo hidrogeológico conceitual.

6 Modelagem Numérica do Fluxo na Área de Estudo

No processo de criação de um modelo hidrogeológico deve-se ter em mente os objetivos que se pretende atingir. Conforme Feitosa (2000), em alguns casos, estes objetivos podem ser o de previsão, ou seja, prever as respostas do aquífero a determinadas ações, ou de interpretação, segundo as quais se procura entender o funcionamento do aquífero e sistematizar as informações.

Além disso, análises numéricas de fluxo podem ajudar no entendimento e no subsídio de informações essenciais para a solução de problemas de instabilidade de taludes, simulações de rebaixamento do nível freático, avaliação de potenciais para captação de água subterrânea entre outros, que dificilmente seriam entendidos por aproximações simplificadas e soluções analíticas.

A proposição de um modelo hidrogeológico para a área em estudo tem por objetivo representar a distribuição de pressões e a posição da linha de pressão nula no maciço e na fundação da PDE-05, assim como nas demais áreas de interesse, reproduzindo um cenário aproximado das condições atuais de percolação da água subterrânea para a zona saturada. A partir deste cenário simplificado, pretende-se apresentar as possíveis causas e condicionantes que justifiquem a ocorrência de sub-pressões na fundação da PDE-05.

Para tanto, serão utilizados os *softwares Slide 5.0®* da Rocscience Inc.¹⁸ e o *VisualModflow®* da Waterloo Hydrogeologic Inc.¹⁹, em duas e três dimensões respectivamente, implementado-se o modelo hidrogeológico conceitual segundo as unidades hidroestratigráficas e condições de contorno anteriormente definidas, para simulações das condições de escoamento subterrâneo em regime estacionário.

¹⁸ A Rocscience Inc. é uma empresa canadense, associada à universidade de Toronto, a qual desenvolve *softwares* específicos para análises de problemas geotécnicos nos setores da engenharia civil e mineração.

¹⁹ Waterloo Hydrogeologic Inc. é uma empresa do Grupo Schlumberger que desenvolve e comercializa *softwares* para análises de fluxo subterrâneo e transporte de contaminantes.

Em ambos os modelos hidrogeológicos numéricos (2D e 3D), o desenvolvimento dos trabalhos se faz, primeiramente, pela definição do domínio de interesse e sua subsequente divisão em uma malha de cálculo. Em seguida, são implementadas as condições de contorno dos modelos, as unidades hidroestratigráficas e suas correspondentes propriedades hidráulicas em comum acordo com as informações provenientes do modelo conceitual (item 5.1).

Os parâmetros internos do modelo, tais como a condutividade hidráulica e a recarga, são ajustados até que o modelo computacional proposto se comporte de maneira similar à observada em campo, fornecendo valores de vazões e níveis piezométricos próximos à realidade da área, os quais correspondem às fases de calibração e validação do modelo.

6.1. Modelagem Computacional 2 D

O modelo hidrogeológico computacional bidimensional foi implementado seguindo as unidades hidroestratigráficas definidas no modelo físico conceitual, para simulações das condições de escoamento subterrâneo em regime estacionário.

O programa utilizado para estas simulações foi o *Slide*® (V.5.014), desenvolvido para analisar a estabilidade geotécnica de taludes compostos por rocha e solo. Entretanto, este possui também um módulo chamado *Groundwater* que permite simular as condições de fluxo em problemas de duas dimensões, para materiais em condições saturadas e não saturadas.

O módulo *Groundwater* resolve a equação de Richards (1931) em regime permanente que utiliza o método dos elementos finitos para a determinação das cargas hidráulicas no meio simulado.

Para a simulação da área em estudo, foi gerada uma seção vertical típica representativa, criada a partir das curvas topográficas da área, informações e mapas geológicos, descrições de perfis de sondagens executadas e visitas de reconhecimento ao campo.

A seção proposta tem direção SW-NE, iniciando-se no alto da serra (elevação 1080 m), caminhando paralelamente pela ombreira esquerda da PDE-01 até cortar transversalmente a PDE-05. O limite final desta seção foi definido para

uma região localizada na PDE-02, onde a seção intercepta o córrego Derrubada. O comprimento e a espessura desta seção são de 1577 m e 507 m, respectivamente.

Para implementação do modelo foi necessário definir os parâmetros de entrada, tais como condutividade hidráulica e recarga, além das condições de contorno do problema, conforme descrito a seguir.

6.1.1. Parâmetros de Entrada do Modelo 2 D

- Condutividade Hidráulica

Foram estabelecidos parâmetros hidráulicos para cada material identificado na seção modelada, estimados a partir de ensaios de campo e referências bibliográficas, conforme apresentado na Tabela 6. Os parâmetros não saturados, obtidos a partir da curva característica (Apêndice A) de alguns dos materiais - estéril e alteração de rocha - não foram utilizados em razão da simulação proposta não contemplar o regime transiente.

Tabela 6 – Valores das unidades hidroestratigráficas utilizados no modelo bidimensional

Unidade	Litotipos	Cond. Hidráulica (cm/s)		Origem
		K_x	K_y	
I	Solo residual / Colúvio	$2,2 \times 10^{-6}$		Ensaio de permeabilidade e com permeâmetro de Guelph (Apêndice A)
	Alteração de rocha	$1,2 \times 10^{-3}$		
II	Hematitas e itabiritos friáveis da formação Cauê	$5,0 \times 10^{-4}$		Grandchamp (2003), para a mina de Águas Claras
III	Hematita e itabirito compacto / embasamento cristalino	impermeável		Freeze e Cherry, (1979)
IV	Xistos indivisos	$5,0 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-6}$	Freeze e Cherry, (1979)
V	Quartzitos da formação Moeda	$9,0 \times 10^{-5}$		Freeze e Cherry, (1979)
IV	Material estéril itabirito ²⁰	$1,8 \times 10^{-3}$		Ensaio com permeâmetro de Guelph / Tensiômetro (Apêndice A)
	Material estéril xisto	6×10^{-6}		Ensaio de permeabilidade (Apêndice A)

²⁰ Valor da condutividade hidráulica referente ao K_{sat} encontrado no ensaio de campo.

• Recarga

Para calibração do modelo, foi ajustada uma recarga média anual, inserida sobre a superfície topográfica da área, igual a 340 mm anuais para uma pequena região localizada no topo da serra, a montante da PDE-01 (região de baixa declividade e vegetação mais densa) e 290 mm anuais para as demais regiões, mas limitando-se ao “pé” da PDE-05. Nas regiões localizadas à jusante da PDE-05 não foi implementada recarga ao aquífero em razão deste local ser constituído por material de baixa permeabilidade, com cobertura vegetal pouco desenvolvida (gramíneas), além da existência de várias erosões decorrentes da ruptura da PDE-02 e do mau gerenciamento das águas pluviais. Observa-se também, em campo, que esta região é uma área de descarga, como presença de nascentes e também da surgência de água subterrânea na base da PDE-05.

6.1.2. Condições de Contorno e Definição da Malha 2 D

Para implementação do modelo, foram definidas diferentes condições de contorno, a saber:

- No limite superior, sobre toda a região à montante da PDE-05, e sobre esta inclusive, foi implementada condição de fluxo igual à recarga média local estimada (item 5.2);
- No “pé” da PDE-05, foi considerada uma carga de poro-pressão nula, na região onde a água subterrânea aflora formando um pequeno brejo que atualmente alimenta o córrego Derrubada;
- Nos limites lateral esquerdo (topo da serra), direito e inferior do modelo hidrogeológico foi considerada uma fronteira de fluxo nulo.

A malha de elementos finitos utilizada contém 9958 elementos e 5233 nós, sendo cada elemento do tipo triangular. A Figura 19 apresenta a malha de elementos finitos utilizada, focalizando a área da PDE-05.

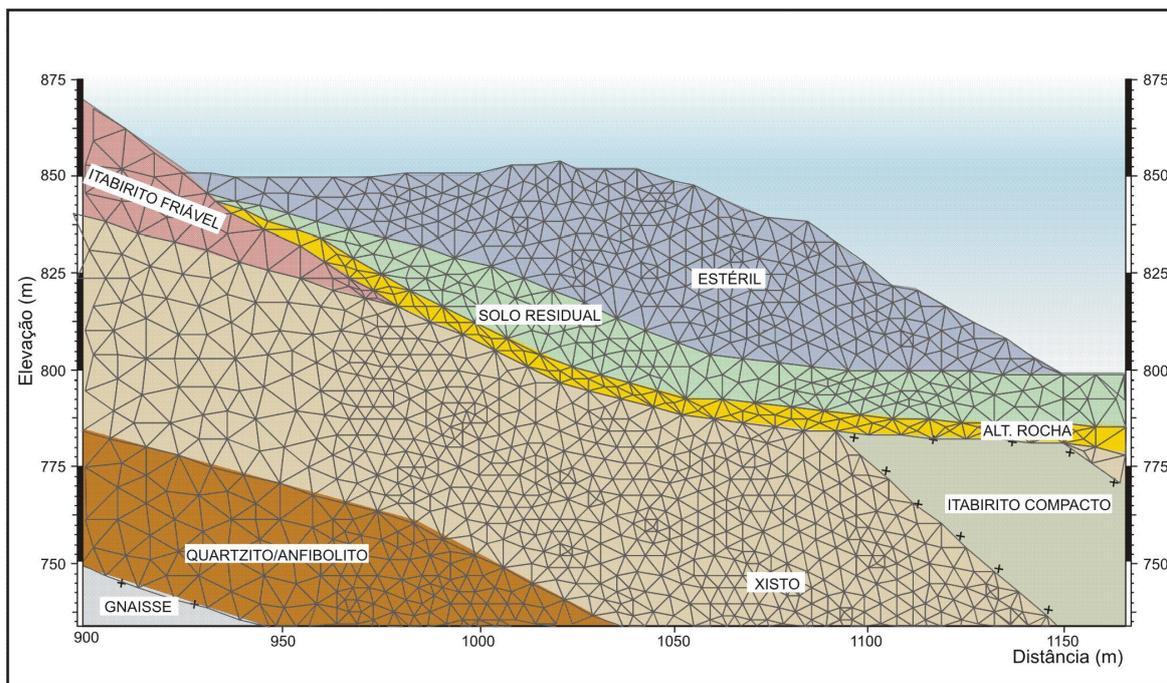


Figura 19 – Malha triangular de elementos finitos utilizada – detalhe focalizando a área da PDE-05.

6.1.3. Calibração do Modelo 2 D

A calibração do modelo consistiu em ajustar os valores de condutividade hidráulica e recarga, objetivando minimizar a diferença entre os valores de níveis freáticos calculados pelo modelo e os dados obtidos a partir de medições realizadas nos PZs e INAs. Nesta calibração também foi utilizado o valor de vazão medido à jusante da PDE-05, para aferir com os valores calculados no modelo.

Para o piezômetro PZ-ANPE5-02, instalado no segundo banco da pilha, foi verificada uma diferença de cerca de 3 m entre a leitura deste instrumento e a calculada pelo modelo, mas que pouco interfere na simulação regional. A Figura 20 apresenta em detalhes, o nível freático calculado pelo modelo, as medidas realizadas nos PZs / INAs e a vazão no “pé” da PDE-05.

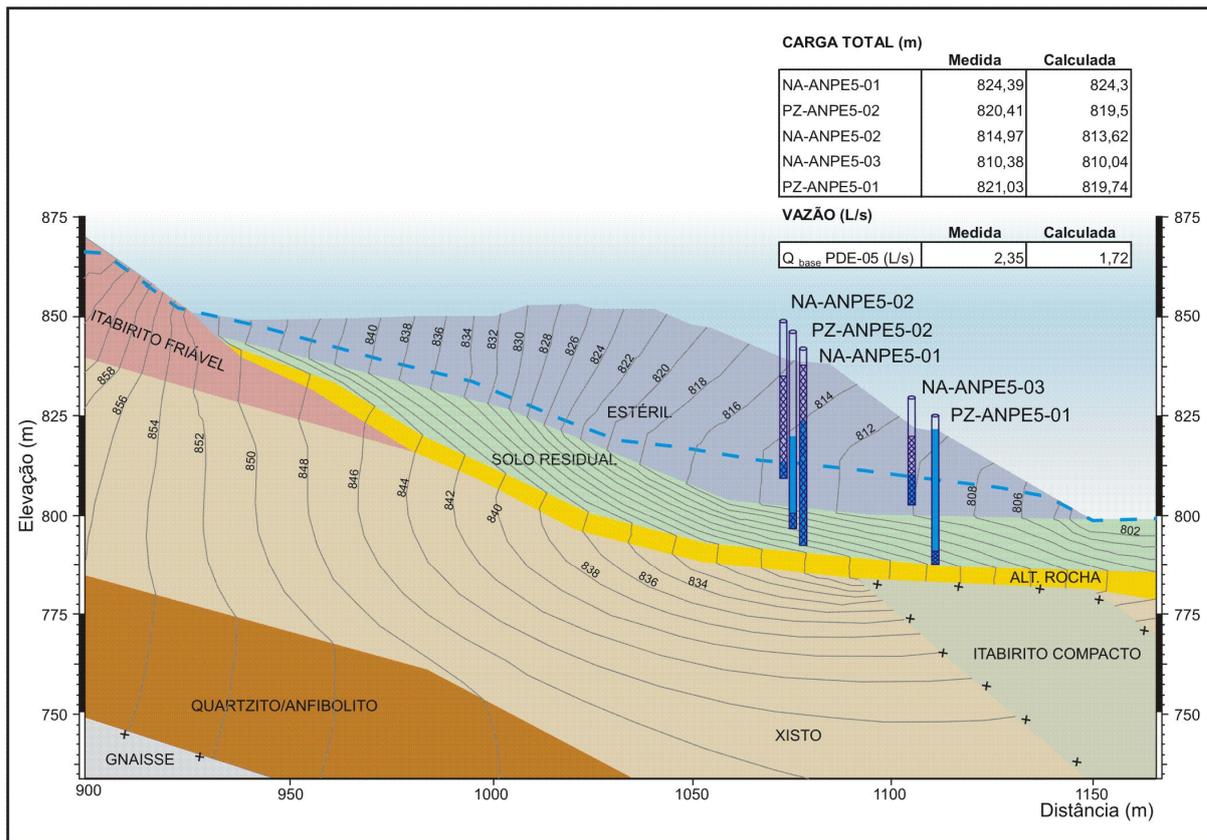


Figura 20 – Resultado da calibração do modelo hidrogeológico numérico bidimensional.

6.1.4. Resultados Obtidos – Modelo 2 D

O fluxo de água subterrânea inicia-se a partir infiltração de água proveniente da recarga. Parte deste fluxo escoar pela camada de itabirito friável até atingir o maciço da pilha de estéril, composto por um material de granulometria arenosa. Devido à existência de uma camada de solo residual de menor permeabilidade sotoposto ao estéril, a maior parte do fluxo subterrâneo acaba por ser conduzido ao pé da pilha por meio do material estéril, em virtude da dificuldade de infiltração de água perante esta camada de solo, que funciona como barreira hidráulica. Em seguida, o fluxo segue livremente sobre a superfície do terreno até encontrar a extinta calha do córrego Derrubada.

No entanto, uma porção do fluxo infiltra para profundidades maiores até atingir o meio fraturado formado pelo substrato rochoso, representado pelos quartzitos, escoando predominantemente em sentido paralelo à topografia do local. Próximo à região da PDE-05, o fluxo encontra uma barreira impermeável formada pela camada de itabirito compacto, de permeabilidade muito baixa, que

impede sua continuidade. Neste ponto, a direção principal do escoamento se altera, passando a escoar verticalmente para a superfície. Vale lembrar que nesta região, a água subterrânea possui uma carga hidráulica superior à elevação topográfica do terreno.

Entretanto, devido à existência de uma camada de baixa permeabilidade sobreposta ao quartzito, o fluxo acaba perdendo grande parte dessa carga hidráulica. A direção principal de escoamento é mais uma vez alterada, passando o fluxo a ser conduzido pela camada de alteração de rocha existente neste local.

Para a região localizada à jusante da PDE-05, o modelo não apresentou resultados satisfatórios, indicando a presença do nível de água (N.A.) praticamente em toda a superfície do terreno (PDE-02), apesar de ser observado nesta região em indicadores de nível de água e sondagens à percussão executadas, um N.A. de aproximadamente seis metros de profundidade. Esta incoerência pode ser explicada pelo fato deste local ter sofrido uma ruptura e o estéril remanescente ainda estar se movimentando, não sendo introduzida adequadamente no modelo uma propriedade hidráulica para esta condição. Mesmo assim, acredita-se que os resultados encontrados nas demais regiões representam bem a realidade da área.

O resultado da análise de percolação é apresentado na Figura 21, na qual se podem observar as condições de contorno, a posição da linha freática no maciço e as linhas equipotenciais de carga total.

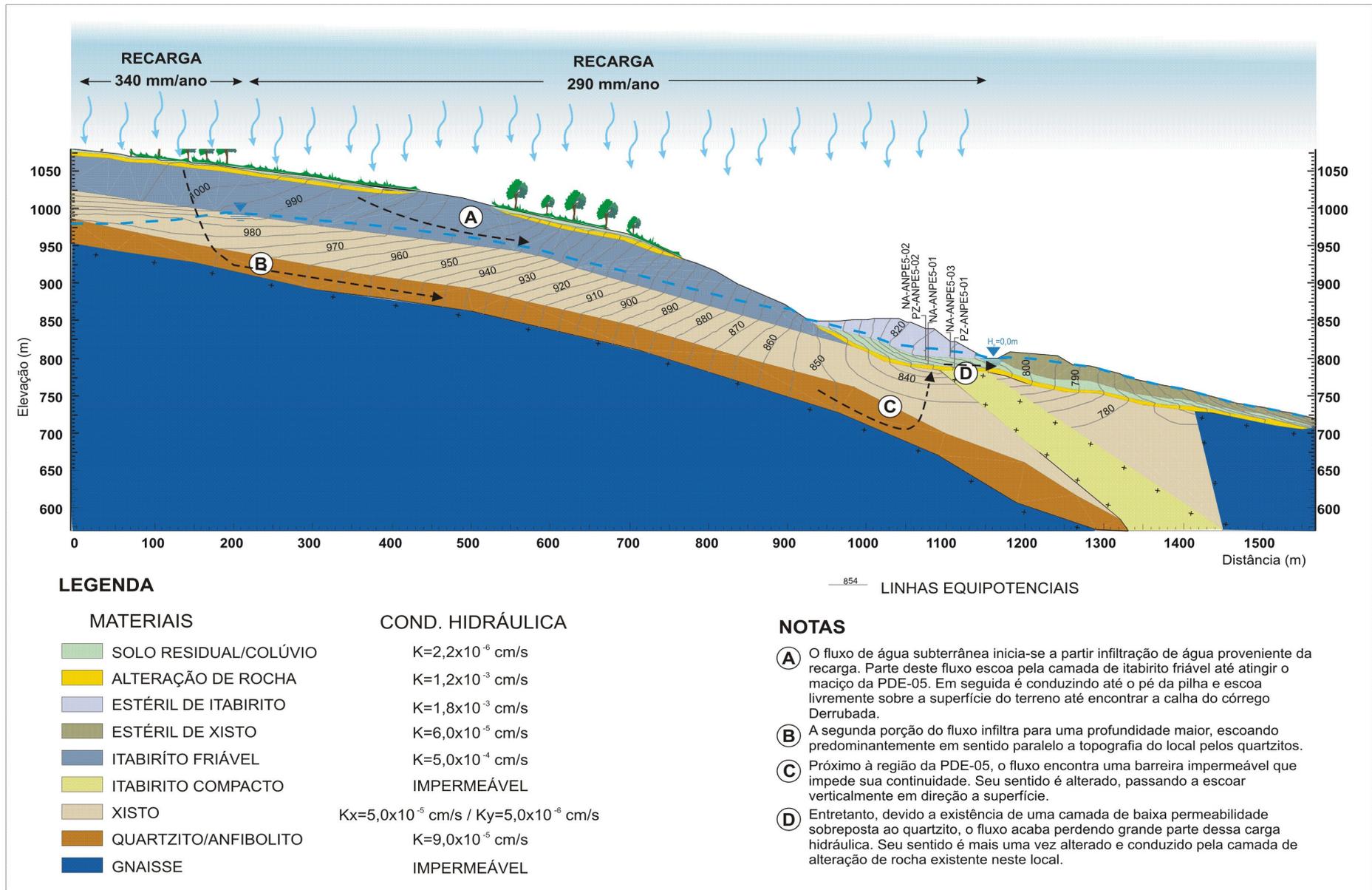


Figura 21 – Resultado do modelo hidrogeológico numérico bidimensional.

6.2. Modelagem Computacional 3 D

O *software* utilizado para representar a dinâmica hidrogeológica no domínio proposto foi o *VisualModFlow*® (Waterloo Hydrogeologic Inc., 2005). Esse aplicativo computacional permite simular o fluxo subterrâneo de água e o transporte de contaminantes através de um modelo numérico de diferenças finitas, resolvendo a equação diferencial do escoamento de água no meio sub-superficial (Anderson e Woessner, 1992), qual seja:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} - R^* \quad (6.1)$$

Onde:

- K_x , K_y e K_z representam os componentes do tensor de condutividade hidráulica nas direções x , y e z , respectivamente, [LT^{-1}];
- h refere-se à carga hidráulica, [L];
- S_s refere-se ao armazenamento específico do meio poroso, [L^{-1}] sendo utilizado apenas para simulações transientes;
- R^* refere-se ao termo geral de fonte ou sumidouro de água [T^{-1}], reproduzindo a injeção ($R^* > 0$) ou remoção ($R^* < 0$) de um volume de água, por unidade de volume do meio, por unidade de tempo; e,
- t refere-se ao tempo, [T].

6.2.1. Configurações do Modelo 3 D

A área modelada contempla $4,96 \times 10^5 \text{ m}^2$ (49,6 ha), encaixada em um pequeno anfiteatro, localizado entre as cotas topográficas mais elevadas (1100 m) e se estendendo até a porção de cotas mais baixas (790 m). A espessura do modelo é variável em função da topografia do terreno natural e da geologia do local.

O modelo foi dividido com uma malha de diferenças finitas de 25 m x 25 m dispostas em 20 camadas de espessuras iguais a 25 m, totalizando 12.500 células. O domínio abrange uma área de dimensões em planta de 1.615 m por 400 m, com limite inferior na cota 600 m em que não há contribuições (fluxo nulo), sendo variável em função da camada de embasamento cristalino.

Os limites das fronteiras laterais do modelo foram estabelecidos levando-se em conta a área de interesse do estudo, a disponibilidade de informação geológica e os respectivos divisores de água, caracterizados pelas linhas de camada das serras que circundam a área. Estes limites foram considerados como de fluxo subterrâneo nulo, isto é, não foram consideradas contribuições subterrâneas para estas regiões do modelo.

Assim, na região sudeste foi admitido que o fluxo seria perpendicular a esta fronteira, não havendo contribuições laterais, em virtude dos elevados gradientes hidráulicos longitudinais esperados.

Na porção nordeste, limitou-se o modelo a partir das drenagens existentes, considerando-as como “drenos”²¹. A Figura 22 resume as condições de contorno adotadas no modelo hidrogeológico regional.

Os valores de condutividade hidráulica adotados foram baseados nos valores sugeridos no modelo conceitual, resultantes dos ensaios de campo realizados na área ou obtidos a partir de referências da literatura para litotipos semelhantes. As unidades hidroestratigráficas foram implementadas a partir de seções horizontais provenientes da mina do Andrade, sendo que a unidade I identificada no modelo conceitual, composta por solos residuais, coluvionares e canga, não foi incorporada nesta simulação devido à pequena espessura ou à inexistência nas seções horizontais fornecidas pela mina.

A unidade referente ao itabirito compacto da formação Cauê e embasamento cristalino, formado por gnaisses, foi considerada impermeável, não sendo também incorporada ao modelo numérico.

Os valores utilizados na modelagem hidrogeológica para as unidades hidroestratigráficas são apresentados na Tabela 7.

²¹ Os “drenos” são recursos do *VisualModflow*® para extração do excesso de água na superfície modelada, permitindo configurar melhor as drenagens e talvegues existentes. O excesso de água que extrapola a base do dreno é retirado da simulação de forma replicar o desaguamento de uma drenagem superficial.

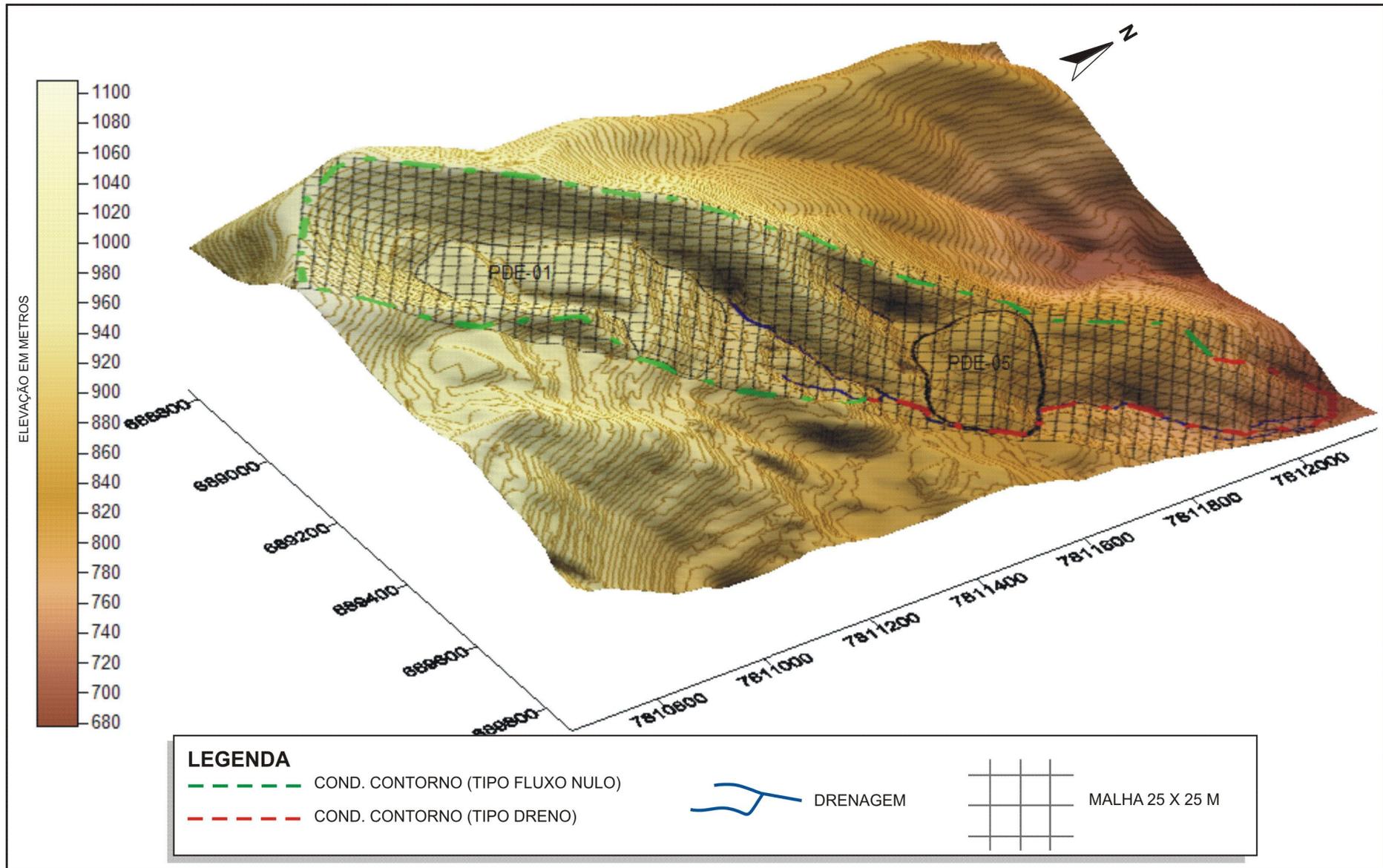


Figura 22 - Domínio do modelo hidrogeológico, identificação das condições de contorno adotadas e malha de cálculo (método das diferenças finitas).

Tabela 7 – Valores das unidades hidroestratigráficas utilizados no modelo regional

Unidade ²²	Litotipos	Cond. Hidráulica (cm/s)			Origem
		K _x	K _y	K _z	
II	Hematitas e itabiritos friáveis da formação Cauê	5×10^{-4}	1×10^{-3}	5×10^{-4}	Grandchamp (2003), para a mina de Águas Claras
IV	Xistos indivisos	1×10^{-5}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	Freeze e Cherry, (1979)
V	Quartzitos da formação Moeda	1×10^{-4}			Freeze e Cherry, (1979)
VI	Material estéril itabirito	1×10^{-3}			Ensaios com permeâmetro de Guelph (Apêndice A)

Para a recarga do aquífero, adotaram-se três valores médios representativos, a saber:

- 300 mm/ano, implementado nas áreas compostas por material estéril de itabirito devido a este material possuir uma propriedade drenante e de fácil infiltração;
- 50 mm/ano, implementado nas áreas de maior declividade (regiões topográficas elevadas) e compostos em alguns locais por afloramentos rochosos;
- 200 mm/ano nas demais áreas.

Para a determinação destes valores de recarga do aquífero, foi realizado um balanço hídrico simplificado da bacia, na qual se insere a região estudada (item 5.2), estando esses valores dentro da faixa de valores máximos e mínimos aceitáveis para as condições geomorfológicas e litológicas da área.

Em todos os talwegues e drenagens existentes na região do modelo, foi necessário implementar sumidouros de água, a fim de melhor configurar melhor a superfície freática. Esses sumidouros foram impostos a partir do recurso do *VisualModflow*® denominado como “dreno”. Cada “dreno” foi posicionado sobre a superfície do terreno existente, com valores de condutância hidráulica estimada em 5.000 m²/dia. Este valor adotado já que não havia medições específicas em cada trecho das drenagens para calculá-lo.

²² A numeração deste item refere-se as unidades hidroestratigráficas sugeridas no modelo conceitual.

6.2.2. Calibração do Modelo 3 D

Para a calibração do modelo, utilizaram-se os dados existentes dos instrumentos de monitoramento hidrogeotécnico (PZs e INAs) instalados dentro da área modelada.

Além destes instrumentos, medidas de vazão nas nascentes existentes e no “pé” da PDE-05 foram utilizadas para verificar se os valores assumidos para a recarga do sistema aquífero eram condizentes aos verificados em campo.

Para cada instrumento monitorado, calculou-se um valor médio representativo das leituras anuais dos níveis freáticos e piezométricos, utilizando a série de valores do ano de 2006, para comparação aos valores calculados pelo modelo numérico.

Outra forma também realizada para verificar se o modelo numérico representa adequadamente o cenário real é a comparação dos volumes totais de entrada e saída de água simulada no modelo numérico. Valores próximos a 0,1% são aceitáveis segundo Konikow (1978). A Tabela 8 apresenta os valores de entrada e saída de água do modelo numérico, onde o valor encontrado para discrepância foi de 0,13%.

Tabela 8 – Balanço de água do modelo numérico – volumes totais de entrada e saída.

ENTRADA:	SAIDA:
Carga Constante = 0,00 [m ³]	Carga Constante = 0,00 [m ³]
Poços = 0,00 [m ³]	Poços = 0,00 [m ³]
Drenos = 0,00 [m ³]	Drenos = 216,08 [m ³]
Recarga = 215,79 [m ³]	Recarga = 0,00 [m ³]
Evapotranspiração = 0,00 [m ³]	Evapotranspiração = 0,00 [m ³]
<hr/> Total ENTRADA = 215,79 [m³]	<hr/> Total SAIDA = 216,08 [m³]
	ENTRADA - SAIDA = -0,29 [m³]
	% Discrepância (erro) = -0,13

A Figura 23 apresenta os resultados da calibração do modelo em um gráfico de valores observados em campo *versus* valores calculados pelo modelo. A ocorrência de pontos que se alinham com a reta de 45° indica uma calibração favorável, na qual o melhor ajuste encontrado correspondeu a um erro absoluto

médio de 4,8 m, com desvio padrão de 2,0 m, com uma média normalizada dos quadrados das diferenças (NRMS) de 5,1%.

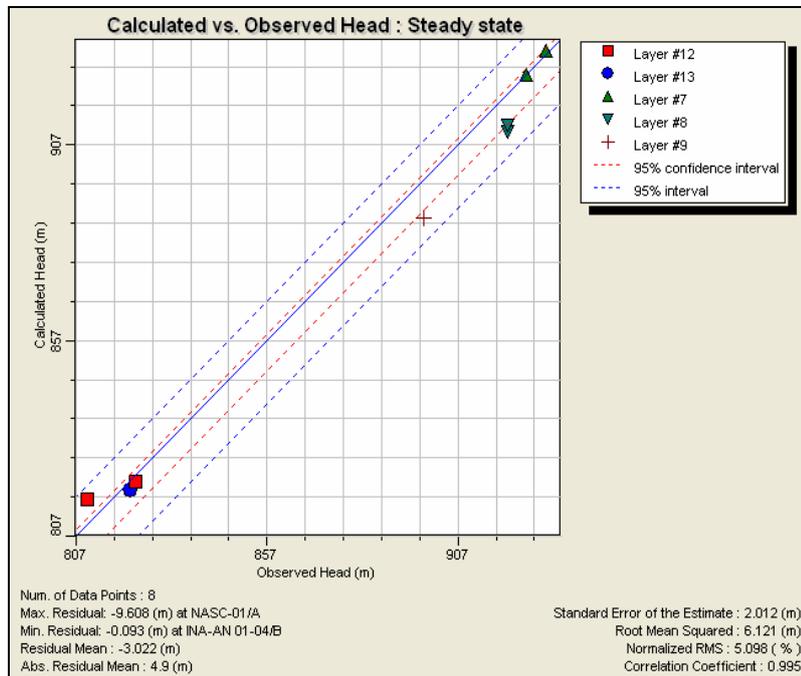


Figura 23 – Comparações entre as cargas hidráulicas medidas e calculadas pelo modelo numérico tridimensional.

Apesar do modelo aparentemente calibrado (carga hidráulica e recarga), incertezas ainda podem existir na simulação, devido às soluções não-únicas, conforme relatado por Anderson e Woessner (1992). Tais incertezas ocorrem porque diferentes combinações de parâmetros do campo fornecem valores equivalentes de calibração e, para estes casos, o mais recomendado para quantificação das incertezas é a realização de análises sensitivas dos parâmetros estimados.

No entanto, considerou-se desnecessária a realização das análises sensitivas, já que o objetivo da modelagem numérica esperado neste trabalho não é a previsão do comportamento da água subterrânea em estágios futuros, mas sim a comparação da representação do escoamento subterrâneo em modelos 2 D e 3 D na área da PDE-05. Isto forneceria resultados que ajudariam na compreensão da ocorrência das sub-pressões na fundação.

Além do mais, os resultados encontrados durante o processo de calibração foram considerados adequados em relação ao comportamento previsto pelo modelo conceitual e pelas medidas de campo (descarga e carga hidráulica).

6.2.3. Resultados Obtidos no Modelo 3 D

A distribuição espacial da superfície freática, calculada pelo modelo 3 D, representa o atual direcionamento do escoamento da água subterrânea, apresentando valores próximos dos níveis freáticos medidos em campo.

De acordo com esta distribuição, o fluxo das águas subterrâneas se dá a partir da infiltração da água proveniente das áreas de recarga do alto das serras, com direção predominante de sudoeste para nordeste. Próximo à elevação 920 m, parte deste fluxo aflora na superfície, originando a nascente principal da área modelada e, mais à jusante, o córrego Derrubada. Na região da PDE-05, mais especificamente em sua fundação, as linhas equipotenciais calculadas mostram que o fluxo possui um componente vertical, com cargas hidráulicas iguais às cotas topográficas do local, promovendo o aporte de água até a superfície, além da surgência da água subterrânea próxima à região do pé da PDE-05. A Figura 24 apresenta a superfície freática, com a direção de fluxo simulada pelo modelo hidrogeológico para seções horizontais nas elevações 925 m, 875 m, 850m, 800m, 775m e seção vertical com direção SW-NE.

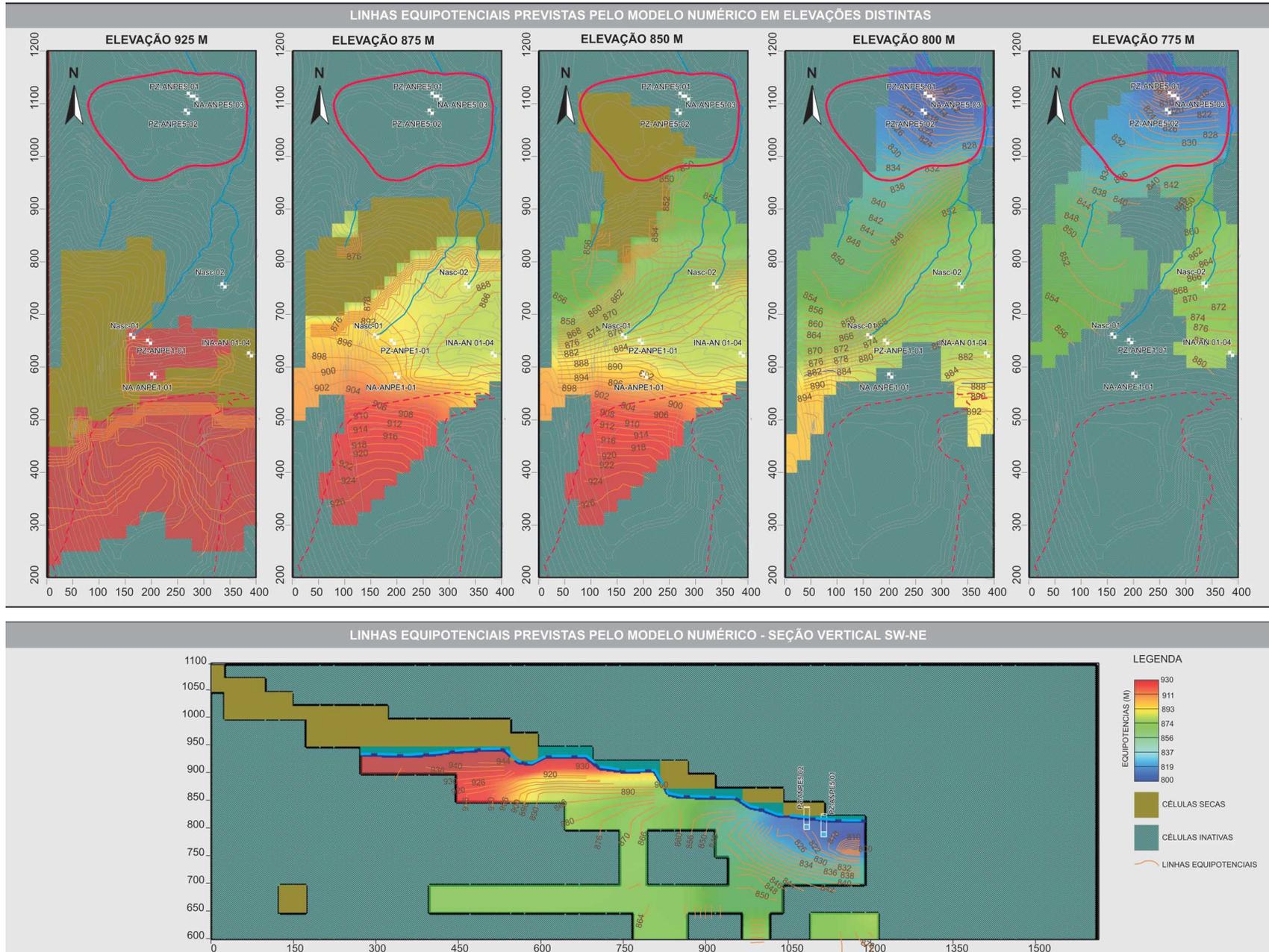


Figura 24 - Distribuição potenciométrica da superfície freática simulada pelo modelo hidrogeológico numérico 3 D calibrado.

6.3.Comparação entre os Resultados Obtidos nos Modelos Numéricos

Neste item serão discutidos os aspectos relacionados aos resultados obtidos nas simulações numéricas bidimensionais e tridimensionais realizadas na área em estudo, com especial atenção ao objetivo inicial da criação dos modelos numéricos, a partir dos quais se desejava representar a ocorrência de sub-pressões na fundação da PDE-05 bem como entender as possíveis causas de tal ocorrência.

Para tanto, é importante diferenciar cada tipo de modelo e de simulação, antes mesmo de serem comparados seus resultados, pois ambas as ferramentas utilizadas possuem limitações que podem interferir nos resultados encontrados.

Vale lembrar que em cada modelo numérico, propriedades hidrodinâmicas e condições de contorno foram ajustadas a fim de se obter a melhor calibração. Os modelos podem, portanto, possuir valores diferentes para o mesmo elemento, desde que condizentes com as diretrizes propostas no modelo conceitual.

A modelagem bidimensional é muito utilizada para entendimento de problemas de fluxo subterrâneo devido à facilidade e à velocidade de implementação dos parâmetros de entrada, condições de contorno e geração da malha de cálculo, que podem ainda ser facilmente refinada em áreas específicas do problema, sem acarretar um demanda excessiva em termos de processamento. A precisão na delimitação dos contornos do modelo, tendo em vista a flexibilidade de incorporação da malha, no caso de se utilizar o método dos elementos finitos, é também um fator que propicia a utilização da ferramenta.

Por outro lado, os modelos tridimensionais vêm conquistando cada vez mais espaço, principalmente pela facilidade de visualização e compreensão dos resultados encontrados, além de permitirem realizar simulações em que as interações tridimensionais devem ser consideradas e têm grande influência no problema posto.

Avaliando os resultados encontrados nos dois modelos, pode-se dizer que ambas as simulações permitiram representar de maneira satisfatória, o escoamento da água subterrânea proveniente da recarga.

Para o modelo em 2 D, a sub-pressão na fundação da PDE-05 é facilmente visualizada, indicando que a causa desta ocorrência está relacionada principalmente aos condicionantes geológicos existentes neste local.

Do mesmo modo, observa-se no modelo 3 D, a grande influência da geologia local no comportamento do escoamento subterrâneo, apesar de que, neste modelo, algumas lentes e camadas de material de pequena espessura não foram consideradas, como é o caso das camadas de solo residual e a alteração de rocha existentes na fundação da PDE-05.

Apesar disso, pequenas diferenças pontuais entre cargas hidráulicas calculadas nos diferentes modelos foram observadas para locais de mesma elevação topográfica, mas que pouco interferem nas simulações regionais, sendo relacionadas às diferenças de parâmetros, ao refinamento das malhas, às simplificações da geologia e a outros. Por exemplo, para os instrumentos PZ-ANPE5-01 e PZ-ANPE5-02, as diferenças encontradas para as medidas de carga hidráulica foram 0,90m e 1,50m, respectivamente. Para o instrumento NA-ANPE5-03, encontraram-se diferenças entre os modelos de 6,20m. No que se refere às medições de vazão no “pé” da pilha, as diferenças são da ordem de 0,8L/s.

Por fim, ressalta-se que os modelos em três dimensões exigem o conhecimento de vários parâmetros hidráulicos e das condições de contorno que, na maioria das vezes, não estão determinados para a área de interesse. A necessidade para a busca por limites de fronteira, em áreas com baixo conhecimento hidrogeológico, incorporam, conseqüentemente, mais uma fonte de incerteza à modelagem. Mais do que isso, as grandes dimensões da malha de cálculo, necessárias para tornar o modelo estável e reduzir o tempo de processamento, muitas vezes dificultam a visualização de fenômenos de menor escala, mas que não são, por isso, menos importantes.

7 Conclusões e Considerações Finais

Os estudos realizados permitiram simular, de maneira satisfatória, o escoamento de água subterrânea em uma pilha de estéril temporária constituída por rocha itabirítica, que apresentava elevadas pressões hidrostáticas em sua fundação.

Para tanto, realizou-se uma caracterização geológica-geotécnica e hidrogeotécnica da área contemplada, a partir de relatórios técnicos disponibilizados pela CVRD, visitas de campo, perfis de sondagens, ensaios de campo e laboratório. A confirmação das causas para esta pressurização da fundação da pilha se fez a partir dos resultados de dois modelos hidrogeológicos computacionais, a duas e três dimensões, utilizando-se os programas *Slide*® e *VisualModflow*®.

Em ambos os resultados dos modelos, observou-se que, basicamente, a associação de dois fatores são os responsáveis pela geração da sub-pressão na fundação da PDE-05: o condicionante geológico local e aumento dos índices pluviométricos totais no ano de 2005.

O condicionante geológico identificado a partir de perfis de sondagem refere-se à presença de uma barreira impermeável composta por itabirito compacto, sotoposta as camadas de solo residual, e à alteração de rocha existentes na fundação da pilha. Esta barreira impede que o fluxo nesta região mantenha sua direção predominante (SW-NE) e seu sentido paralelo à topografia do local. A inversão desta direção de fluxo, associado ao acúmulo de carga hidráulica nesta região, devido ao elevado gradiente hidráulico, permite que o escoamento adquira potencial hidráulico suficiente para atingir a superfície topográfica, o que pode ser confirmado por medições de um piezômetro instalado na fundação da pilha.

Entretanto, o fluxo proveniente desta região perde parte da carga hidráulica ao percolar, em sentido vertical, por camadas de materiais de permeabilidade mais baixa, formando uma condição de semi-confinamento do aquífero ao se deparar

com a camada de solo residual existente. Por fim, o fluxo subterrâneo aflora na superfície mais adiante, na base da PDE-05.

Outro aspecto importante identificado neste estudo foi a influência dos fatores climatológicos da região. Ao avaliar a série histórica de precipitação, nota-se que as chuvas referentes ao ano de 2006 não foram muito significativas, havendo uma redução de 13% do volume anual precipitado em relação à série do ano anterior.

Em razão disso, o volume de água infiltrada necessário para recarregar o lençol freático no decorrer deste período não foi suficiente. Esta conclusão pode ser verificada a partir da comparação dos níveis piezométricos observados ao longo dos anos de 2005 e 2006. Neste último ano, não foi observada a surgência da água subterrânea no instrumento PZ-ANPE5-01, mesmo após os eventos chuvosos mais expressivos.

As análises de sensibilidade do parâmetro recarga mostraram uma relação direta como os valores das cargas hidráulicas calculadas na fundação da PDE-05. Este fato demonstra um ponto importante em relação à estabilidade geotécnica da pilha, onde, dependendo dos parâmetros de resistência dos materiais existentes na fundação desta, instabilidades e possíveis rupturas poderão ocorrer durante períodos chuvosos intensos, seguidos de anos anteriores com valores pluviométricos elevados.

Cabe lembrar que pilhas de estéril de alta permeabilidade e densidade, formada por materiais compostos por solo ou rocha tais como os apresentados neste estudo, dificilmente terão sua estabilidade geotécnica comprometida devido à saturação de seu maciço. Situações indesejáveis, no que diz respeito à estabilidade, poderão ocorrer exclusivamente devido à falta de conhecimentos dos materiais e pressões hidráulicas na fundação e também à configurações geométricas inadequadas.

No que se referem aos modelos computacionais utilizados, ambos permitiram simular corretamente o problema posto, apesar das diferenças marcantes entre as ferramentas numéricas. Por um lado, as ferramentas numéricas bidimensionais fornecem bons resultados para as condições de fluxo, mas se limitam a problemas nos quais a terceira dimensão não se faz tão representativa.

Por outro lado, a implementação de modelos tridimensionais para as regiões em que a base de dados é insuficiente ou inexistente, pode fornecer resultados

equivocados. Da mesma forma, a implementação de condições de contorno inadequadas, associada à adoção de parâmetros hidráulicos e climatológicos incertos, pode comprometer as simulações propostas, trazendo dificuldades para que o modelo matemático computacional represente corretamente a realidade da área modelada.

O estudo de caso ora apresentado, embora a região modelada apresente uma geometria típica de um problema tridimensional, permite que o conceito de fluxo subterrâneo seja simplificado, possibilitando a abordagem do problema em duas dimensões. Tendo em vista as dificuldades encontradas para acomodação dos parâmetros e as condições de contorno em um modelo tridimensional, conclui-se que se trata de um típico caso em que a modelagem bidimensional pode ser considerada tão ou mais precisa que a modelagem tridimensional correspondente.

Como sugestão para trabalhos futuros, faz-se necessário uma caracterização mais completa das propriedades hidráulicas dos materiais encontrados na área, seja por ensaios de campo tais como *slug* teste, perda de água sob pressão *etc* ou outros métodos que permitam determinar a permeabilidade do meio poroso ou fraturado, principalmente nas regiões em que a influência dos materiais constituintes e das estruturas de deformação presentes são importantes condicionantes no problema tratado.

Outros métodos mais precisos para estimar os valores de recarga do aquífero também podem ser utilizados e que, dependendo do foco do trabalho, podem ser de fundamental importância. Neste sentido, a implementação de um sistema de monitoramento das variáveis climatológicas locais e de monitoramento de escoamento superficial são fundamentais para permitir estimativas mais acuradas de evapotranspiração e recarga, visto que na área estudada só há medição pluviométrica.

8 Referências Bibliográficas

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. **Seção Informações hidrológicas/HidroWeb**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/>>. Acesso em: 13 nov. 2006.

ANDERSON, M. P.; WOESSNER, W.W. **Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport**. San Diego, California: Academic Pres, Inc., 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Ensaio de permeabilidade em solos: orientações para sua execução no campo**, boletim 04. São Paulo, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13029: elaboração e apresentação de projeto de disposição estéril, em pilha, em mineração**. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13029: elaboração e apresentação de projeto de disposição estéril em pilha**. Rio de Janeiro, 2006.

BALTAZAR, O. F.; BAARS F. J.; LOBATO, L. M.; REIS, L.B.; ACHTSCHIN, A. B.; BERNI, G. V.; SILVEIRA, V. D. **Mapa Geológico João Monlevade**. In: Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Lobato *et al.* (2005). Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. Escala 1: 50.000.

BERTOLINO, L. C. **Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais - geologia regional**. LabGeo, FFP-UERJ. Net, Rio de Janeiro. Seção Disciplinas. Disponível em: <<http://www.labgeoffp.com.br/HTML/quadrilatero.html>>. Acesso em: 10 jul. 2006.

CALDWELL, J.A.; MOSS, A.S.E. **The simplified analysis of mine waste embankments**. Symposium on Design of Non-Impounding Mine Waste Embankments. Denver USA. AIME Fall Meeting, 1981.

CARUCCIO, F.T; GEIDEL, G.; WILLIAMS, R. **Induced alkaline recharge zones to mitigate acidic seeps**. Lexington, KY: Proceedings of the Symposium of Surface Mining, Hydrology, Sedimentology, and Reclamation, 1984. pp. 43-47.

DARCY, H. Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Paris: Vitor Dalmont, 1856.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **NRM-01 a NRM-22**: normas reguladoras de mineração - portaria nº 237. Brasília, 2001.

DIENE, A. A. **Desenvolvimento de tensiômetros para sucção elevada ensaiados em lisímetros de laboratório**. 2004. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D.; TAN, K. A. **Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses**. Ground Water Monitoring. Review. Part 9, 1989, p.184-193.

ENDO, I. **Regimes tectônicos do arqueano e proterozóico no interior da placa sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais**. 1997. 243p. Tese (Doutorado em Geotectónica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

FEITOSA, F.A.C.; MANUEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Pernambuco: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000.

FIGUEIREDO FERRAZ. **Relatório RT-02-MI09-001 de projeto conceitual das pilhas de estéril 1 e 2 (minuta)**. Bela Vista de Minas (MG), 1992. Relatório interno CVRD.

FIGUEIREDO FERRAZ. **Relatório RT-02-MI09-002 de projeto executivo das pilhas de estéril 1 e 2**. Bela Vista de Minas (MG), 1993. Relatório interno CVRD.

FILHO, C. G. Q; FEITOSA, V. M. M.; COSTA, A. G. D.; PORTO, N. L. F.; ROCHA, D. J. L.; JUNIOR, A. C. **Mina de Alegria: exemplo de pilha de estéril formando um barramento**. Simpósio sobre Barragens de Rejeito e Disposição de Resíduos – REGEO, Rio de Janeiro, 1991.

FRANCO, D. **Metodologia construtiva de pilhas de estéreis e de barramentos vs. otimização de custos**. Simpósio sobre Barragens de Rejeito e Disposição de Resíduos – REGEO, Rio de Janeiro, 1991.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, Inc., 1979.

GOLDER ASSOCIATES. **Inventário dos pontos d'água da mina do Andrade e área de entorno (minuta)**. João Monlevade/ Bela Vista de Minas (MG), 2005. 58p. Relatório interno CVRD.

GRANDCHAMP, C. A. P. **Estudo da recuperação do aquífero Cauê e do enchimento da cava na mina de Águas Claras, serra do Curral, município de Nova Lima, MG**. 2003. 148 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

GREINER, R. **Integrated catchment management for dryland salinity control in the Liverpool plains catchment: a preliminary study from an economic perspective**. Occasional Paper No 12/97, Land and Water Resources Research and Development Corporation, 1997.

GROENEWOLD, G.H., WINCZEWSKI, L.M. **Probable causes of surface instability in contoured strip-mine spoils-Western North Dakota**. Annual Proceedings of the North Dakota Academy of Science, 1977, p. 160-167.

GUIGUER, N.; FRANZ, T. **Visual Modflow for Windows v. 4.1. User's Manual**. Waterloo Hydrogeologic Software. Ontario, Canada. 1997, p.178.

HADDAD, J. F. **Vida útil e segurança de um aterro industrial**. Simpósio sobre Barragens de Rejeito e Disposição de Resíduos – REGEO, Rio de Janeiro, 1991.

HARWOOD, G. D.; THAMES, J. L. **Design and planning considerations in surface-mined land shaping**. Boca Raton, Florida: Hossner, Lloyd R. (Editor). Reclamation of Surface Mined Lands. Volume I. CRC Press, 1988. p. 137-158.

HAWKINS, J.W.; ALJOE, W.W. **Hydrologic characteristics of a surface mine spoil aquifer**. Montreal, Canada: Proceedings of the Second International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, Tome 1, 1991. p. 47-68.

HAWKINS, J.W. **Hydrogeologic characteristics of surface-mine spoil: chapter 3**. K.B.C Brady, M.W. Smith, and J. Schueck. Coal Mine Drainage Prediction and Pollution Prevention in Pennsylvania. The Pennsylvania Department of Environmental Protection: 1998.

HILLEL, D. **Soil and Water**. Academic Press, Inc., New York, p.413, 1971.

ISHIBE, L. M. No limite da vida. **Veja**, São Paulo, ed. 1526, ano 30, p. 97-105, dez 1997. Entrevista concedida a Dorrit Harazim e Maurício Cardoso.

KONIKOW, L.F. **Calibration of ground-water models**. Verification of Mathematical and Physical Models in Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers, New York, 1978, p. 87-93.

LOREIRO, C.O. Notas de Aula – ESA-890 – **Escoamento em Meios Porosos**. DESA, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

MARINHO, F. A. M. **A técnica do papel filtro para medição da sucção**. Porto Alegre: Encontro sobre solos não saturados, 1995, p.112-125.

MCLEAN, I. e JOHNES, M. **Aberfan: disasters and government**. Cardiff: Welsh Academic Press, 2000.

McNEILL, J.R. **Algo nuevo bajo el sol: Historia medioambiental del mundo en el siglo XX**. Tradução de José Luis Gil Aristu. Alianza Editorial, S.A. Madrid, 2003. Tradução de *Something new under the sun: an environment history of the twentieth-century world*.

MELLO, J. W. V; ABRAHÃO, W.A. P. **Geoquímica da drenagem ácida**. In: Recuperação de áreas degradadas. Viçosa, 1998, p. 45-57.

MENEZES, C. T. B.; LEAL, L. S.; SANTO, E. L.; RUBIO, J.; ROSA J. J. da; GALATTO, S. L.; IZIDORO, G. **Tratamento de drenagem ácida de mina: experiência da carbonífera metropolitana**. In: XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 2004, Florianópolis. v. 1. p. 599-607.

MINÉRIOS & MINERALES. **Sinterização viabilizou a mina do Andrade**. Net, São Paulo, ed. 277, 2004. Seção Ferrosos, não-ferrosos e agregados. Disponível em: http://www.minerios.com.br/277/minerios_ferro4.htm. Acesso em: 05 out. 2006.

MORAN, S.R., CHERRY, J.A., REHM, B., GROENEWOLD, G.H. **Hydrologic impacts of surface mining of coal in western North Dakota**. Proceedings of the Symposium on Surface Mining Hydrology, Sedimentology and Reclamation, Lexington, KY, 1979, p. 57-65.

MOREIRA, B. D. M. **Estudo da variabilidade espacial da condutividade hidráulica saturada-não saturada de um colúvio através de ensaios Guelph**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – PUC-Rio. Rio de Janeiro, 1998.

MOURÃO, M. A. A. **Caracterização hidrogeológica do sistema aquífero do Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG.** 2005. 171 f. Projeto de Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – DESA - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

NORMAIS CLIMATOLÓGICAS - 1961 a 1991. Brasília: SPI/EMBRAPA, 1992. INMET - Instituto Nacional de Meteorologia.

PHELPS, L.B. **Characterization of mine spoil properties as tool for premining planning.** Proceedings of the Symposium on Surface Mining Hydrology, Sedimentology and Reclamation, Lexington, KY, 1983, p. 47-51.

PINTO, C.D.S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas.** 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2002, p.247.

PROMINAS PROJ. E SERV. DE MINERAÇÃO. **Mapeamento geológico da mina do Andrade.** CVRD, 2005. Escala 1:10.000.

RAMOS, M. C. D. **O minério de ferro da mina do Andrade: características geológicas, texturais e metalúrgicas.** 1997. 165 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

REEVES, R. G. e COBRA, R. Q. **Geologic Map of the Monlevade Quadrangle, Minas Gerais, Brasil, 1959.** USGS – United States Survey Geologic. Escala 1:25.000.

REHM, B.W., GROENEWOLD, G.H., e MORIN, K.A. **Hydraulic properties of coal and related materials,** Northern Graet Plains, Groundwater, 1980, v.20, p.217-236.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações.** 1. ed. Barueri, São Paulo: Manole, 2004.

REYNOLDS, W. D., ELRICK, D. E., TOPP, G. C. **A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table.** Soil Science, 1983. 136: 250-268

RICHARDS, L. A. **Capillary conduction of liquids through porous medium.** J. Physics 1, p.318-333. 1931.

ROBERTSON, A. M.; STEFFEN, C.; KIRSTEN, B. **Mine waste disposal: An update on geotechnical and geohydrological aspects.** Vancouver, Canada, [1985?].

SOILMOISTURE EQUIPAMENT CORP. **Guelph Permeameter model 2800KI (user manual)**, Rev 8. Santa Bárbara, CA. 1986.

SOILMOISTURE EQUIPAMENT CORP. **Current Transducer model 5301 - Operating Instructions**, Rev 6. Santa Bárbara, CA. 1989.

SOUZA, J. M.M de. **As raízes do Brasil estão na sua mineração**. Minérios & Minerale. Net, São Paulo, ed. 277, 2004. Seção Artigos. Disponível em: <<http://www.minerios.com.br/>>. Acesso em: 04 jun. 2006.

SURFACE MINING CONTROL AND RECLAMATION ACT. **Emended PL 95-97**. Washington, Estados Unidos, 1977.

SCHWENDIMAN, L.C., SCHMEL, G.A., HORST, T.W., THOMAS, C.W., PERKINS, R.W. **A field and model study of windblown particulates from a uranium mill tailings pile**. Battelle, Pacific Northwest Laboratory publication NUREG/CR-1407, PNL-3345, 1980.

THORNTHWAITE C.W. **An approach towards a rational classification of climate**. Geogr. Rev.; Vol.38, No.1, 1948, p. 55-94.

VAN GENUCHTEN, M. Th. **A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils**. Soil Science Society of America Journal 44, 1980, p. 892-898.

VELLOSO, R. Q. **Estudo numérico da estimativa de parâmetros hidráulicos em solos parcialmente saturados**. 2000. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

VELLOSO, R.; VARGAS JUNIOR, E. A.; CASTRO FILHO, G., B.; VAZ L. E. **Desenvolvimento de procedimentos de campo para a determinação de propriedades hidráulicas de solos saturados/não saturados**. Curitiba: COBRAMSEG, 2006.

VOGBR. **Diagnóstico das condições de estabilidade das pilhas de estéril PDE-01, PDE-03 e PDE-05 da mina do Andrade**. Bela Vista de Minas (MG), 2006. 57 p. Relatório interno CVRD.

VOLPE, C. A.; OLIVEIRA, A. D. **Relações entre a evaporação medida em diferentes evaporímetros**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 245-252, 2003.

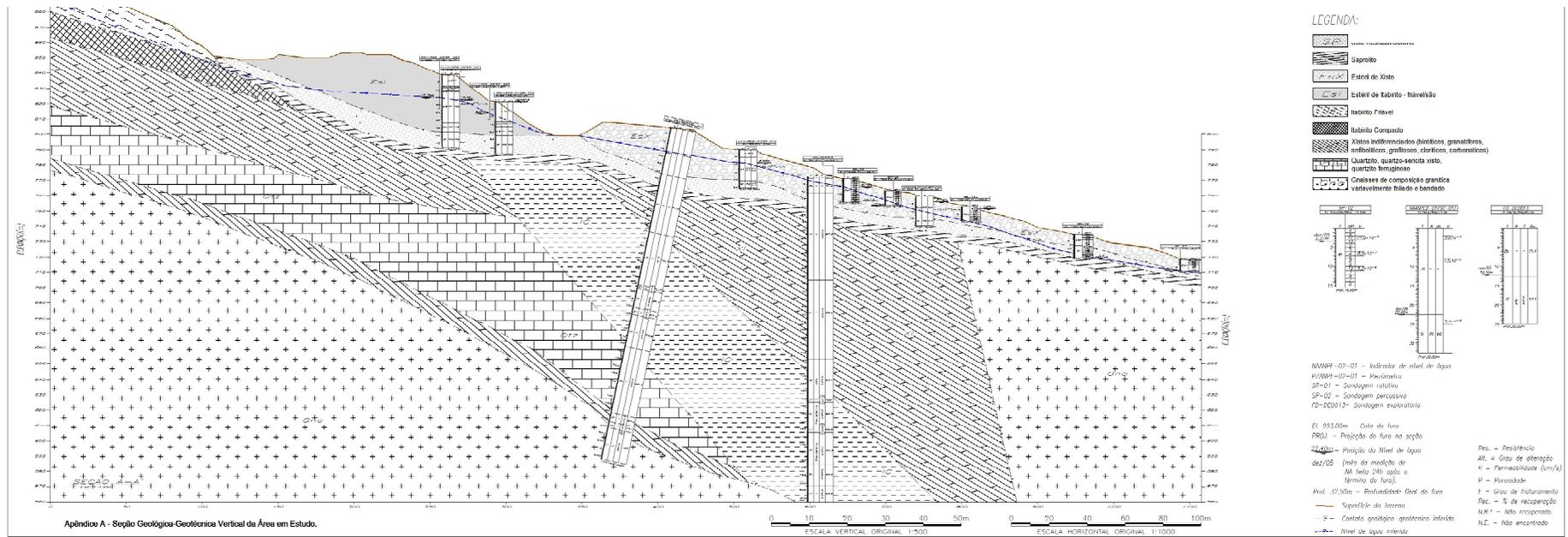
WALTERS, M. H. **Overland erosion of uranium mill tailings impoundments**: physical processes and computational methods. Battelle, Pacific Northwest Laboratory publication NUREGKR-3027, PNL-4523, 1983.

WIKIPÉDIA^a. **Acordos de Washington**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Acordos_de_Washington>. Acesso em: 04 nov 2006.

WIKIPÉDIA^b. **Classificação do clima de Köppen**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Classifica%C3%A7%C3%A3o_do_clima_de_K%C3%B6ppen>. Acesso em: 04 jan 2007

ZENÓBIO, A.A. **Avaliação geológico-geotécnica de encostas naturais rochosas por meio de classificações geomecânicas**: área urbana de Ouro Preto (M.G.) – Escala 1:5.000. 2000. 230 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

Apêndice A – Seção Geológica-Geotécnica Vertical da Área em Estudo



Apêndice B – Gráficos de Variação Temporal – Monitoramento Hidrogeotécnico dos PZs e INAs

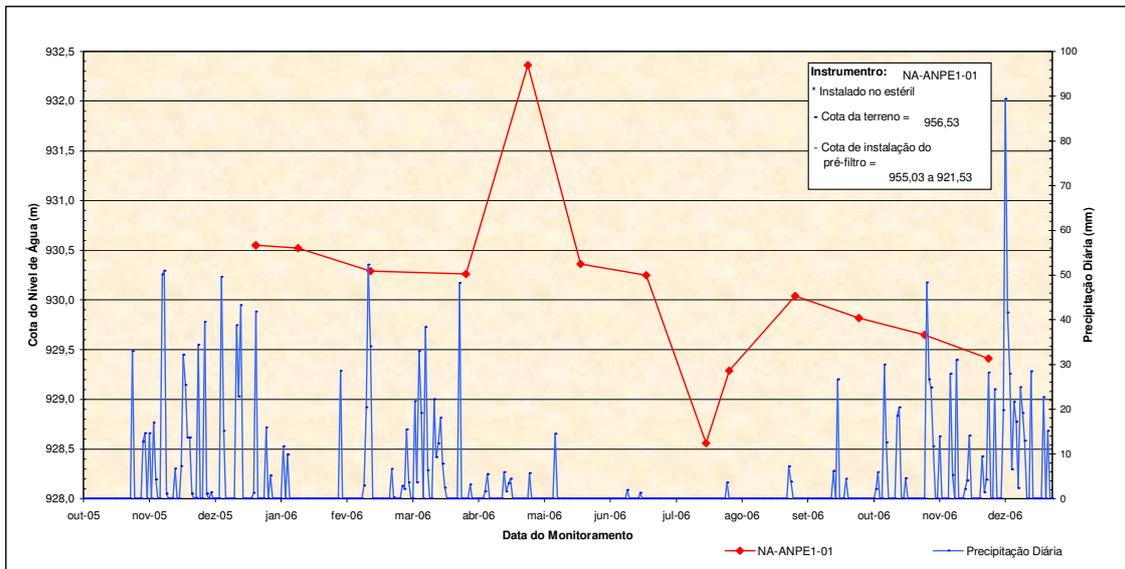


Figura B.1 - Leituras temporais dos níveis freáticos no instrumento de monitoramento hidrogeotécnico NA-ANPE1-01 instalado a montante da pilha estudada (área da pilha PDE-01).

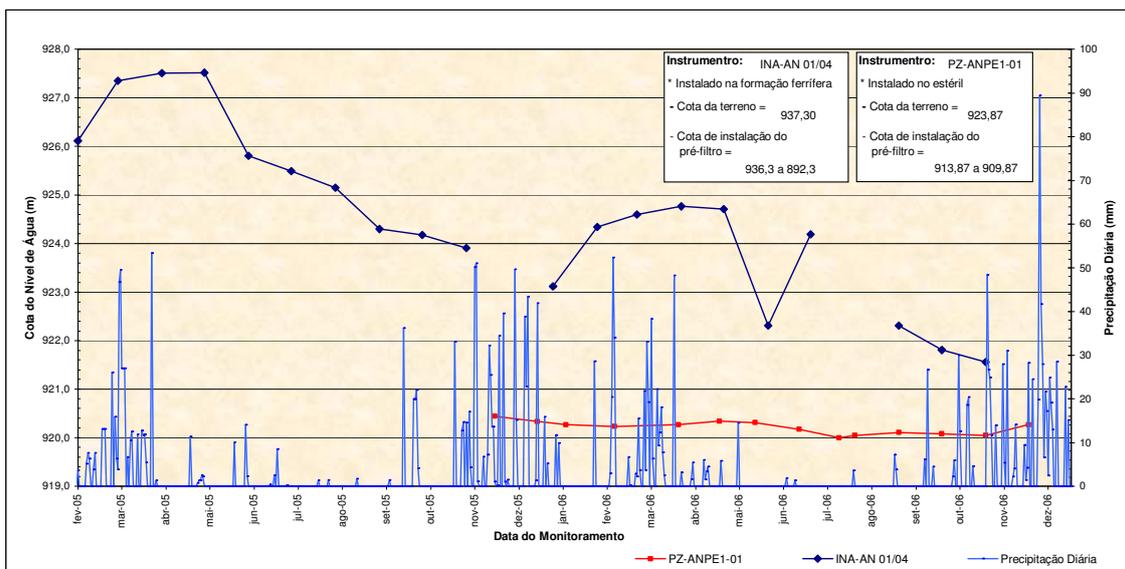


Figura B.2 - Leituras temporais dos níveis freáticos e piezométricos nos instrumentos de monitoramento hidrogeotécnico PZ-ANPE1-01 e INA-AN 01/04, instalados a montante da pilha estudada (área da pilha PDE-01).

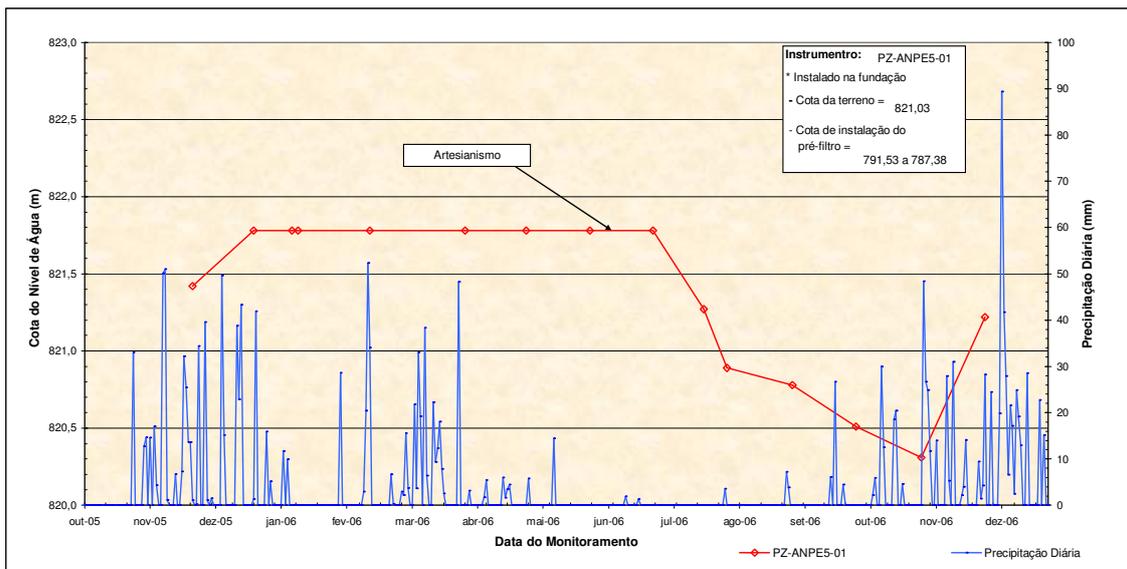


Figura B.3 - Leituras temporais dos níveis piezométricos no instrumento de monitoramento hidrogeotécnico PZ-ANPE5-01, instalado na área da pilha estudada (PDE-05).

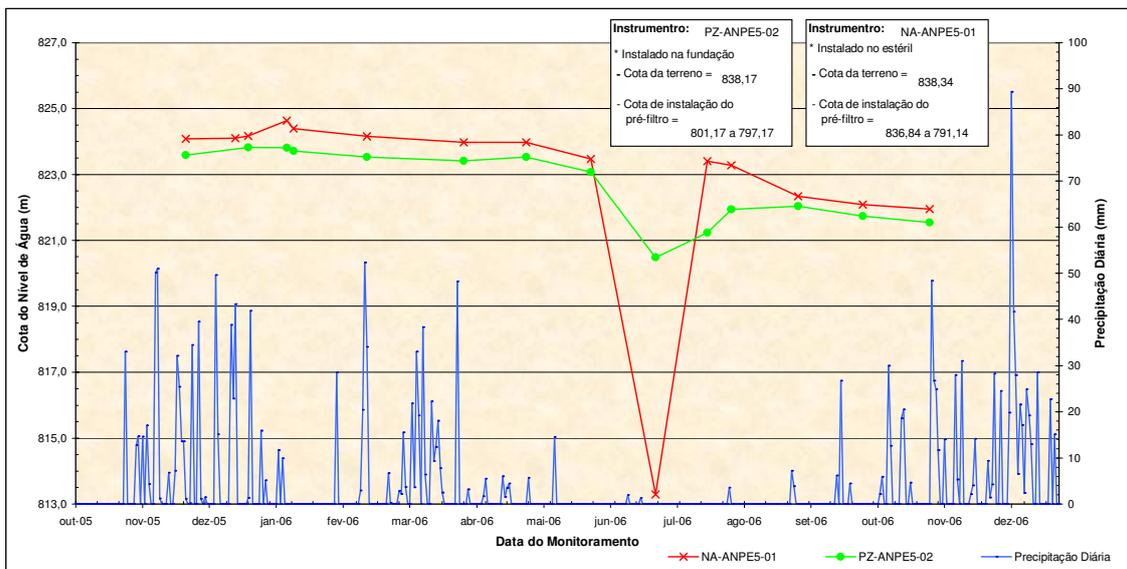


Figura B.4 - Leituras temporais dos níveis freáticos e piezométricos nos instrumentos de monitoramento hidrogeotécnico NA-ANPE5-01 e PZ-ANPE5-02, instalados na área da pilha estudada (PDE-05).

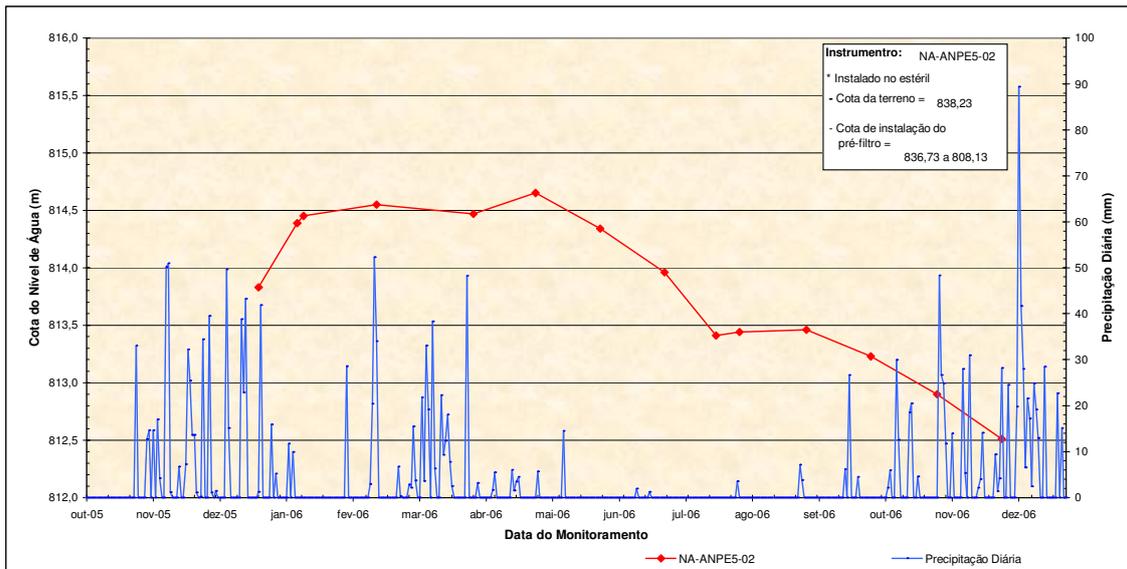


Figura B.5 - Leituras temporais dos níveis freáticos no instrumento de monitoramento hidrogeotécnico NA-ANPE5-02, instalado na área da pilha estudada (PDE-05).

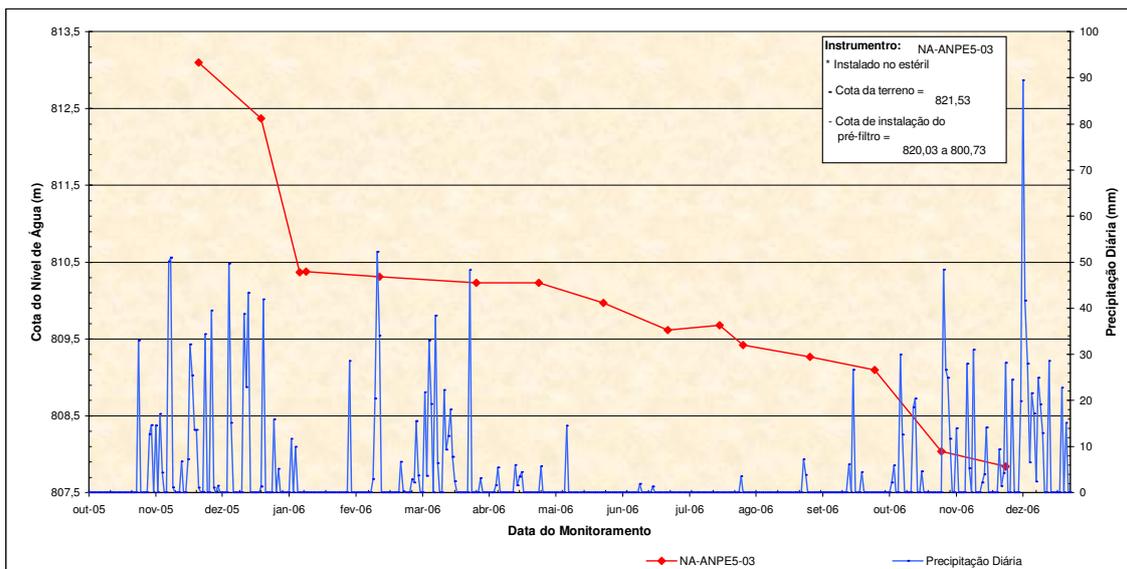


Figura B.6 - Leituras temporais dos níveis freáticos no instrumento de monitoramento hidrogeotécnico NA-ANPE5-03, instalado na área da pilha estudada (PDE-05).

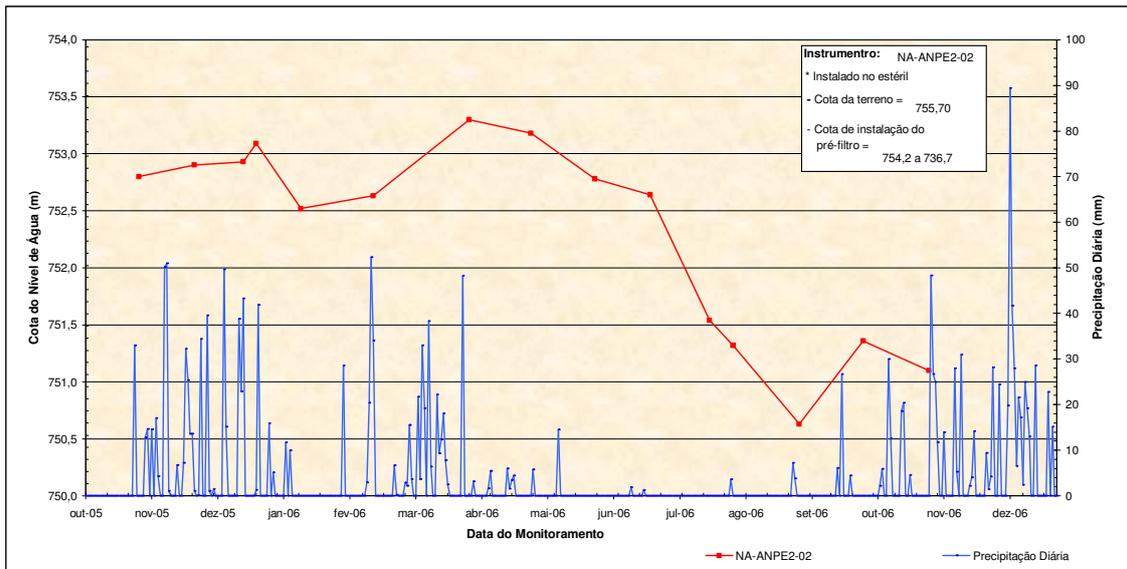


Figura B.7 - Leituras temporais dos níveis freáticos no instrumento de monitoramento hidrogeotécnico NA-ANPE2-02, instalado a jusante da pilha estudada (área da pilha PDE-02).

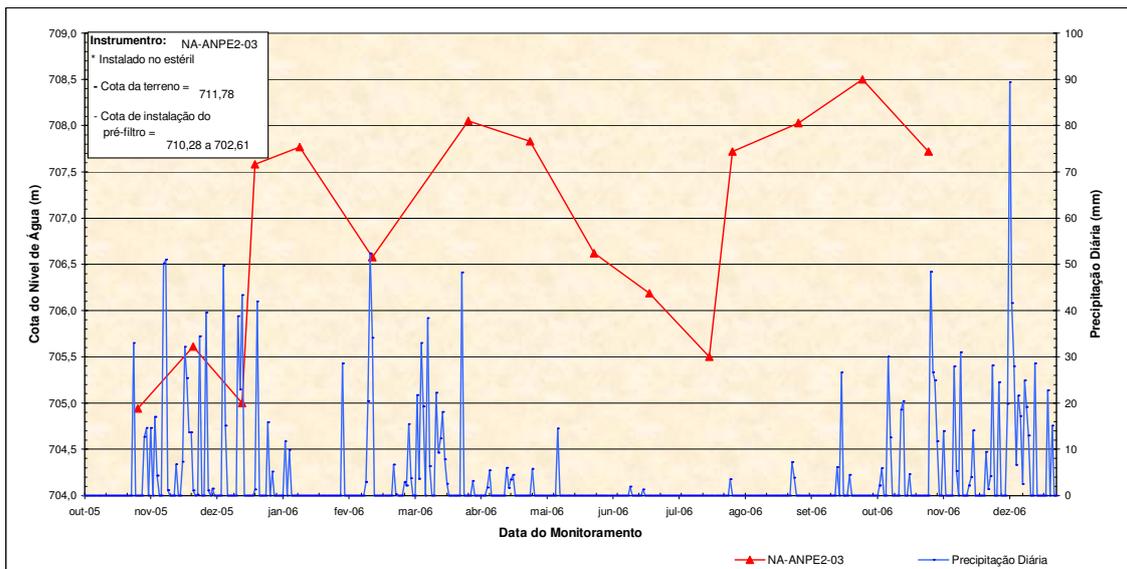


Figura B.8 - Leituras temporais dos níveis freáticos no instrumento de monitoramento hidrogeotécnico NA-ANPE2-03, instalado a jusante da pilha estudada (área da pilha PDE-02).

Apêndice C – Resultados dos Ensaios de Campo e Laboratório

C.1. Ensaios com Permeâmetro de Guelph

PERMEÂMETRO DE GUELPH
ENSAIO DE CAMPO

CLIENTE: CVRDENSAIO Nº: EN-10aPROJETO: Pesquisa de MestradoEMPRESA EXECUTORA: PUC-RioLOCAL: Mina Andrade - PDE-05 (ombreira esquerda)DATA EXECUÇÃO: 20/7/2006COORD N: 7.811.698,00COORD E: 689.443,00

COTA: _____

TÉCNICO RESP.: Fernando Saliba / Guilherme Barros

AUXILIAR: _____

CONDIÇÕES DO ENSAIO	
RESERVATÓRIO INTERNO ($Y = 2,17\text{cm}^2$)	<input type="checkbox"/>
RESERVATÓRIOS COMBINADOS ($X = 35,39\text{cm}^2$)	<input checked="" type="checkbox"/>

INFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS	
DIÂMETRO DO FURO:	<u>2,0</u> (pol.)
PROFUNDIDADE DO FURO:	<u>49,00</u> (cm)

Nível de Água no Poço (cm) = 5,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório $\Delta h/\Delta t$ (cm/s)
00:00:00	6,00	-
00:00:30	10,00	0,133
00:01:00	13,30	0,110
00:01:30	16,80	0,117
00:02:00	19,80	0,100
00:02:30	22,80	0,100
00:03:00	25,80	0,100
00:03:30	28,75	0,098
00:04:00	31,40	0,088
00:04:30	34,20	0,093
00:05:00	36,80	0,087
00:05:30	39,50	0,090
00:06:00	42,20	0,090
00:06:30	45,20	0,100
00:07:00	47,40	0,073
00:07:30	50,00	0,087
00:08:00	52,70	0,090
00:08:30	55,50	0,093
00:09:00	58,00	0,083
00:09:30	60,50	0,083
00:10:00	63,00	0,083

Nível de Água no Poço (cm) = 10,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório $\Delta h/\Delta t$ (cm/s)
00:00:00	7,000	-
00:00:30	12,600	0,187
00:01:00	17,000	0,147
00:01:30	21,200	0,140
00:02:00	25,500	0,143
00:02:30	29,400	0,130
00:03:00	33,200	0,127
00:03:30	37,500	0,143
00:04:00	41,100	0,120
00:04:30	45,000	0,130
00:05:00	48,800	0,127
00:06:30	56,500	0,086
00:07:00	60,500	0,133
00:07:30	64,500	0,133
00:08:00	68,500	0,133
00:08:30	71,500	0,100

Considerações para Cálculo: $H_1 =$ 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm). $R_1 =$ Taxa constante de fluxo, obtida quando R_1 possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s). $H_2 =$ 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm). $R_2 =$ Taxa constante de fluxo, obtida quando R_2 possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s). $A_{trans} =$ Área transversal do reservatório (cm^2) podendo ser X ou Y definido de acordo com cada ensaio. $X =$ Área transversal de 2 reservatórios (cm^2). $Y =$ Área transversal do reservatório interno (cm^2). $a =$ Raio do poço (cm). $K_{fs} =$ Condutividade hidráulica saturada (cm/s). $\Phi_m =$ Fluxo Potencial Mátrico, expresso em cm^2/s . $\alpha =$ Parâmetro alfa, expresso em cm^{-1} . $C =$ Parâmetro C, proporcional H/a (Gráfico C x H/a). $C_1, C_2 =$ Fator C correspondente a H_1/a e H_2/a , respectivamente.**Cálculo da Condutividade Hidráulica Saturada de Campo (Elrick et al., 1989)**

• Método 1:

 $C_1 = 1,0$ $C_2 = 1,5$

$$G_2 = H_1 \times C_2 / \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$$

$$G_1 = G_2 \times [(H_2 \times C_1) / (H_1 \times C_2)]$$

$$G_2 = 0,005 \text{ cm}^2 \quad G_1 = 0,007 \text{ cm}^2$$

$$Q_1 = A_{trans} \times R_1 \quad \rightarrow \quad Q_1 = 2,937 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = A_{trans} \times R_2 \quad \rightarrow \quad Q_2 = 4,707 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$J_1 = (2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) C_1 / 2 \times \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$$

$$J_2 = J_1 \times [(2 \times H_1^2 + a^2 \times C_1) \times C_2] / [(2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) \times C_1]$$

$$J_1 = 0,066 \quad J_2 = 0,026$$

$$\Phi_m = J_1 \times Q_1 - J_2 \times Q_2 \quad \Phi_m = 7,22\text{E-}02 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$K_{fs} = G_2 \times Q_2 - G_1 \times Q_1 \quad K_{fs} = 4,54\text{E-}03 \text{ cm/s}$$

• Método 2:

$$K_{fs} = (C \times Q_2) / [2 \times \pi \times H^2 + C \times \pi \times a^2 + (2 \times \pi \times H / \alpha^*)]$$

$$\alpha^* = 12$$

$$K_{fs} = - \text{ cm/s}$$

Taxa constante de fluxo (R_1)
3 leituras consecutivas: 0,083Taxa constante de fluxo (R_2)
3 leituras consecutivas: 0,133

PERMEÂMETRO DE GUELPH
ENSAIO DE CAMPO

CLIENTE: CVRDENSAIO Nº: EN-01bPROJETO: Pesquisa de MestradoEMPRESA EXECUTORA: PUC-RioLOCAL: Mina Andrade - PDE-05 (3º banco - berma de acesso)DATA EXECUÇÃO: 16/5/2006COORD N: 7.811.580,00COORD E: 689.521,00COTA: 836,00TÉCNICO RESP.: Fernando Saliba / Guilherme Barros

AUXILIAR: _____

CONDIÇÕES DO ENSAIO	
RESERVATÓRIO INTERNO ($Y = 2,17\text{cm}^2$)	<input type="checkbox"/>
RESERVATÓRIOS COMBINADOS ($X = 35,39\text{cm}^2$)	<input checked="" type="checkbox"/>

INFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS	
DIÂMETRO DO FURO:	<u>2,0</u> (pol.)
PROFUNDIDADE DO FURO:	<u>28,00</u> (cm)

Nível de Água no Poço (cm) = 5,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório $\Delta h/\Delta t$ (cm/s)
00:00:00	1,40	-
00:00:30	3,00	0,053
00:01:00	4,60	0,053
00:01:30	6,00	0,047
00:02:00	7,20	0,040
00:02:30	8,50	0,043
00:03:00	9,80	0,043
00:03:30	11,00	0,040
00:04:00	12,00	0,033
00:04:30	13,30	0,043
00:05:00	14,40	0,037
00:05:30	15,60	0,040
00:06:00	16,70	0,037
00:06:30	17,80	0,037

Nível de Água no Poço (cm) = 10,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório $\Delta h/\Delta t$ (cm/s)
00:00:00	21,600	-
00:01:00	25,300	0,062
00:01:30	27,300	0,067
00:02:00	29,000	0,057
00:02:30	30,800	0,060
00:03:00	32,600	0,060
00:03:30	36,100	0,117
00:04:00	37,800	0,057
00:04:30	39,500	0,057
00:05:00	41,100	0,053
00:05:30	43,000	0,063
00:06:00	44,600	0,053
00:06:30	46,200	0,053
00:07:00	47,800	0,053
00:07:30	49,400	0,053

Considerações para Cálculo: H_1 = 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm). R_1 = Taxa constante de fluxo, obtida quando R_1 possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s). H_2 = 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm). R_2 = Taxa constante de fluxo, obtida quando R_2 possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s).Atrans = Área transversal do reservatório (cm^2) podendo ser X ou Y definido de acordo com cada ensaio.X = Área transversal de 2 reservatórios (cm^2).Y = Área transversal do reservatório interno (cm^2).

a = Raio do poço (cm).

 K_{fs} = Condutividade hidráulica saturada (cm/s). Φ_m = Fluxo Potencial Mátrico, expresso em cm^2/s . α = Parâmetro alfa, expresso em cm^{-1} .

C = Parâmetro C, proporcional H/a (Gráfico C x H/a)

 C_1, C_2 = Fator C correspondente a H_1/a e H_2/a , respectivamente.**Cálculo da Condutividade Hidráulica Saturada de Campo (Elrick et al., 1989)****Método 1:** $C_1 = 1,0$ $C_2 = 1,5$

$$G_2 = H_1 \times C_2 / \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$$

$$G_1 = G_2 \times [(H_2 \times C_1) / (H_1 \times C_2)]$$

$$G_2 = 0,005 \text{ cm}^2 \quad G_1 = 0,007 \text{ cm}^2$$

$$Q_1 = A_{trans} \times R_1 \quad \rightarrow \quad Q_1 = 1,534 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = A_{trans} \times R_2 \quad \rightarrow \quad Q_2 = 1,887 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$J_1 = (2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) C_1 / 2 \times \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$$

$$J_2 = J_1 \times [(2 \times H_1^2 + a^2 \times C_1) \times C_2] / [(2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) \times C_1]$$

$$J_1 = 0,066 \quad J_2 = 0,026$$

$$\Phi_m = J_1 \times Q_1 - J_2 \times Q_2 \quad \Phi_m = 5,25E-02 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$K_{fs} = G_2 \times Q_2 - G_1 \times Q_1 \quad K_{fs} = \text{Utilizar Método 2}$$

Método 2:

$$K_{fs} = (C \times Q) / [2 \times \pi \times H^2 + C \times \pi \times a^2 + (2 \times \pi \times H / \alpha^*)]$$

$$\alpha^* = 12$$

$$K_{fs} = 1,09E-02 \text{ cm/s}$$

Taxa constante de fluxo (R_1)
3 leituras consecutivas: 0,043Taxa constante de fluxo (R_2)
3 leituras consecutivas: 0,053

PERMEÂMETRO DE GUELPH
ENSAIO DE CAMPO



CLIENTE: CVRD ENSAIO Nº: EN-04b
 PROJETO: Pesquisa de Mestrado EMPRESA EXECUTORA: PUC-Rio
 LOCAL: Mina Andrade - PDE-05 (2º banco - berma de acesso) DATA EXECUÇÃO: 17/5/2006
 COORD N: 7.811.608,00 COORD E: 689.609,00 COTA: 840,00
 TÉCNICO RESP.: Fernando Saliba / Guilherme Barros AUXILIAR: _____

CONDIÇÕES DO ENSAIO	
RESERVATÓRIO INTERNO (Y = 2,17cm ²)	<input type="checkbox"/>
RESERVATÓRIOS COMBINADOS (X = 35,39cm ²)	<input checked="" type="checkbox"/>

INFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS	
DIÂMETRO DO FURO:	<u>2,0</u> (pol.)
PROFUNDIDADE DO FURO:	<u>29,00</u> (cm)

Nível de Água no Poço (cm) = <u>5,00</u>		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório Δh/Δt (cm/s)
00:00:00	1,50	-
00:00:30	3,80	0,077
00:01:00	5,50	0,057
00:01:30	7,10	0,053
00:02:00	8,50	0,047
00:02:30	9,80	0,043
00:03:00	11,20	0,047
00:03:30	12,50	0,043
00:04:00	13,70	0,040
00:04:30	15,00	0,043
00:05:00	16,20	0,040
00:05:30	17,35	0,038
00:06:00	18,50	0,038
00:06:30	19,70	0,040
00:07:00	20,90	0,040
00:07:30	22,10	0,040
00:08:00	23,20	0,037
00:08:30	24,30	0,037
00:09:00	25,40	0,037
00:09:30	26,60	0,040
00:10:00	27,70	0,037

Nível de Água no Poço (cm) = <u>20,00</u>		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório Δh/Δt (cm/s)
00:00:00	21,500	-
00:00:30	24,700	0,107
00:01:00	27,600	0,097
00:01:30	30,200	0,087
00:02:00	32,700	0,083
00:02:30	35,300	0,087
00:03:00	37,700	0,080
00:03:30	40,200	0,083
00:04:00	42,700	0,083
00:04:30	45,100	0,080
00:05:00	47,400	0,077
00:05:30	49,900	0,083
00:06:00	52,100	0,073
00:06:30	54,500	0,080
00:07:00	56,700	0,073
00:07:30	59,000	0,077
00:08:00	61,200	0,073
00:08:30	63,400	0,073
00:09:00	65,600	0,073
00:09:30	67,800	0,073
00:10:00	70,100	0,077

Considerações para Cálculo:

- H₁ = 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm).
 R₁ = Taxa constante de fluxo, obtida quando R₁ possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s).
 H₂ = 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm).
 R₂ = Taxa constante de fluxo, obtida quando R₂ possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s).
 A_{trans} = Área transversal do reservatório (cm²) podendo ser X ou Y definido de acordo com cada ensaio.
 X = Área transversal de 2 reservatórios (cm²).
 Y = Área transversal do reservatório interno (cm²).
 a = Raio do poço (cm).
 K_{fs} = Condutividade hidráulica saturada (cm/s).
 Φ_m = Fluxo Potencial Mátrico, expresso em cm²/s.
 α = Parâmetro alfa, expresso em cm⁻¹.
 C = Parâmetro C, proporcional H/a (Gráfico C x H/a)
 C₁, C₂ = Fator C correspondente a H₁/a e H₂/a, respectivamente.

Cálculo da Condutividade Hidráulica Saturada de Campo (Elrick et al., 1989)**• Método 1:**

$$C_1 = 1,0 \quad C_2 = 2,1$$

$$G_2 = H_1 \times C_2 / \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$$

$$G_1 = G_2 \times [(H_2 \times C_1) / (H_1 \times C_2)]$$

$$G_2 = 0,001 \text{ cm}^2 \quad G_1 = 0,002 \text{ cm}^2$$

$$Q_1 = A_{trans} \times R_1 \rightarrow Q_1 = 1,309 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = A_{trans} \times R_2 \rightarrow Q_2 = 2,583 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$J_1 = (2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) C_1 / 2 \times \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$$

$$J_2 = J_1 \times [(2 \times H_1^2 + a^2 \times C_1) \times C_2] / [(2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) \times C_1]$$

$$J_1 = 0,042 \quad J_2 = 0,006$$

$$\Phi_m = J_1 \times Q_1 - J_2 \times Q_2 \quad \Phi_m = 3,95E-02 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$K_{fs} = G_2 \times Q_2 - G_1 \times Q_1 \quad K_{fs} = 2,92E-04 \text{ cm/s}$$

• Método 2:

$$K_{fs} = (C \times Q) / [2 \times \pi \times H^2 + C \times \pi \times a^2 + (2 \times \pi \times H / \alpha^*)]$$

$$\alpha^* = 12$$

$$K_{fs} = - \text{ cm/s}$$

Taxa constante de fluxo (R₁)
3 leituras consecutivas: 0,037

Taxa constante de fluxo (R₂)
3 leituras consecutivas: 0,073

PERMEÂMETRO DE GUELPH
ENSAIO DE CAMPO



CLIENTE: CVRD ENSAIO Nº: EN-05a

PROJETO: Pesquisa de Mestrado EMPRESA EXECUTORA: PUC-Rio

LOCAL: Mina Andrade - PDE-05 (2º banco - berma de acesso) DATA EXECUÇÃO: 17/5/2006

COORD N: 7.811.670,00 COORD E: 689.569,00 COTA: 833,00

TÉCNICO RESP.: Fernando Saliba / Guilherme Barros AUXILIAR: _____

CONDIÇÕES DO ENSAIO	
RESERVATÓRIO INTERNO ($Y = 2,17\text{cm}^2$)	<input type="checkbox"/>
RESERVATÓRIOS COMBINADOS ($X = 35,39\text{cm}^2$)	<input checked="" type="checkbox"/>

INFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS	
DIÂMETRO DO FURO:	<u>2,0</u> (pol.)
PROFUNDIDADE DO FURO:	<u>28,00</u> (cm)

Nível de Água no Poço (cm) = 5,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório $\Delta h/\Delta t$ (cm/s)
00:00:00	0,50	-
00:00:30	1,10	0,020
00:01:00	1,60	0,017
00:01:30	2,00	0,013
00:02:00	2,40	0,013
00:02:30	2,70	0,010
00:03:00	3,10	0,013
00:03:30	3,40	0,010
00:04:00	3,70	0,010
00:04:30	4,00	0,010
00:05:00	4,30	0,010
00:05:30	4,60	0,010
00:06:00	4,90	0,010

Nível de Água no Poço (cm) = 20,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório $\Delta h/\Delta t$ (cm/s)
00:00:00	16,700	-
00:00:30	18,150	0,048
00:01:00	19,300	0,038
00:01:30	20,400	0,037
00:02:00	21,400	0,033
00:02:30	22,500	0,037
00:03:00	23,500	0,033
00:03:30	24,300	0,027
00:04:00	25,200	0,030
00:04:30	26,000	0,027
00:05:00	26,900	0,030
00:05:30	27,700	0,027
00:06:00	28,600	0,030
00:06:30	29,400	0,027
00:07:00	30,200	0,027
00:07:30	31,000	0,027
00:08:00	31,900	0,030

Considerações para Cálculo:

- H_1 = 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm).
 R_1 = Taxa constante de fluxo, obtida quando R_1 possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s).
 H_2 = 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm).
 R_2 = Taxa constante de fluxo, obtida quando R_2 possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s).
 A_{trans} = Área transversal do reservatório (cm^2) podendo ser X ou Y definido de acordo com cada ensaio.
 X = Área transversal de 2 reservatórios (cm^2).
 Y = Área transversal do reservatório interno (cm^2).
 a = Raio do poço (cm).
 K_{fs} = Condutividade hidráulica saturada (cm/s).
 Φ_m = Fluxo Potencial Mátrico, expresso em cm^2/s .
 α = Parâmetro alfa, expresso em cm^{-1} .
 C = Parâmetro C, proporcional H/a (Gráfico C x H/a).
 C_1, C_2 = Fator C correspondente a H_1/a e H_2/a , respectivamente.

Cálculo da Condutividade Hidráulica Saturada de Campo (Elrick et al., 1989)

• Método 1:

$$C_1 = 1,0 \quad C_2 = 2,1$$

$$G_2 = H_1 \times C_2 / \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$$

$$G_1 = G_2 \times [(H_2 \times C_1) / (H_1 \times C_2)]$$

$$G_2 = 0,001 \text{ cm}^2 \quad G_1 = 0,002 \text{ cm}^2$$

$$Q_1 = A_{trans} \times R_1 \quad \rightarrow \quad Q_1 = 0,354 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = A_{trans} \times R_2 \quad \rightarrow \quad Q_2 = 0,956 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$J_1 = (2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) C_1 / 2 \times \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$$

$$J_2 = J_1 \times [(2 \times H_1^2 + a^2 \times C_1) \times C_2] / [(2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) \times C_1]$$

$$J_1 = 0,042 \quad J_2 = 0,006$$

$$\Phi_m = J_1 \times Q_1 - J_2 \times Q_2 \quad \Phi_m = 9,11\text{E-}03 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$K_{fs} = G_2 \times Q_2 - G_1 \times Q_1 \quad K_{fs} = 3,98\text{E-}04 \text{ cm/s}$$

• Método 2:

$$K_{fs} = (C \times Q_2) / [2 \times \pi \times H^2 + C \times \pi \times a^2 + (2 \times \pi \times H / \alpha^*)]$$

$$\alpha^* = 12$$

$$K_{fs} = - \text{ cm/s}$$

Taxa constante de fluxo (R_1)
3 leituras consecutivas: 0,010

Taxa constante de fluxo (R_2)
3 leituras consecutivas: 0,027

PERMEÂMETRO DE GUELPH
ENSAIO DE CAMPO

CLIENTE: CVRDENSAIO Nº: EN-05bPROJETO: Pesquisa de MestradoEMPRESA EXECUTORA: PUC-RioLOCAL: Mina Andrade - PDE-05 (2º banco - berma de acesso)DATA EXECUÇÃO: 17/5/2006COORD N: 7.811.670,00COORD E: 689.569,00COTA: 833,00TÉCNICO RESP.: Fernando Saliba / Guilherme Barros

AUXILIAR: _____

CONDIÇÕES DO ENSAIO	
RESERVATÓRIO INTERNO ($Y = 2,17\text{cm}^2$)	<input type="checkbox"/>
RESERVATÓRIOS COMBINADOS ($X = 35,39\text{cm}^2$)	<input checked="" type="checkbox"/>

INFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS	
DIÂMETRO DO FURO:	<u>2,0</u> (pol.)
PROFUNDIDADE DO FURO:	<u>28,00</u> (cm)

Nível de Água no Poço (cm) = 5,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório $\Delta h/\Delta t$ (cm/s)
00:00:00	1,00	-
00:00:30	2,80	0,060
00:01:00	4,20	0,047
00:01:30	5,50	0,043
00:02:00	6,70	0,040
00:02:30	7,90	0,040
00:03:00	9,00	0,037
00:03:30	10,10	0,037
00:04:00	11,20	0,037
00:04:30	12,30	0,037
00:05:00	13,25	0,032
00:05:30	14,20	0,032
00:06:00	15,25	0,035
00:06:30	16,20	0,032
00:07:00	17,20	0,033

Nível de Água no Poço (cm) = 20,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório $\Delta h/\Delta t$ (cm/s)
00:00:00	27,600	-
00:00:30	32,900	0,177
00:01:00	37,100	0,140
00:01:30	41,100	0,133
00:02:00	44,800	0,123
00:02:30	48,400	0,120
00:03:00	51,800	0,113
00:03:30	54,900	0,103
00:04:00	58,200	0,110
00:04:30	61,600	0,113
00:05:00	64,600	0,100
00:05:30	67,800	0,107
00:06:00	71,200	0,113
00:06:30	74,400	0,107
00:07:00	78,300	0,130

Considerações para Cálculo: $H_1 =$ 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm). $R_1 =$ Taxa constante de fluxo, obtida quando R_1 possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s). $H_2 =$ 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm). $R_2 =$ Taxa constante de fluxo, obtida quando R_2 possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s).Atrans= Área transversal do reservatório (cm^2) podendo ser X ou Y definido de acordo com cada ensaio.X= Área transversal de 2 reservatórios (cm^2).Y= Área transversal do reservatório interno (cm^2).

a = Raio do poço (cm).

 $K_{fs} =$ Condutividade hidráulica saturada (cm/s). $\Phi_m =$ Fluxo Potencial Mátrico, expresso em cm^2/s . $\alpha =$ Parâmetro alfa, expresso em cm^{-1} .

C = Parâmetro C, proporcional H/a (Gráfico C x H/a)

 $C_1, C_2 =$ Fator C correspondente a H_1/a e H_2/a , respectivamente.**Cálculo da Condutividade Hidráulica Saturada de Campo (Elrick et al., 1989)**

• Método 1:

$C_1 = 1,0$

$C_2 = 2,1$

$G_2 = H_1 \times C_2 / \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$

$G_1 = G_2 \times [(H_2 \times C_1) / (H_1 \times C_2)]$

$G_2 = 0,001 \text{ cm}^2 \quad G_1 = 0,002 \text{ cm}^2$

$Q_1 = A_{trans} \times R_1 \rightarrow Q_1 = 1,132 \text{ cm}^3/\text{s}$

$Q_2 = A_{trans} \times R_2 \rightarrow Q_2 = 3,079 \text{ cm}^3/\text{s}$

$J_1 = (2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) C_1 / 2 \times \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$

$J_2 = J_1 \times [(2 \times H_1^2 + a^2 \times C_1) \times C_2] / [(2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) \times C_1]$

$J_1 = 0,042 \quad J_2 = 0,006$

$\Phi_m = J_1 \times Q_1 - J_2 \times Q_2$

$\Phi_m = 2,90E-02 \text{ cm}^2/\text{s}$

$K_{fs} = G_2 \times Q_2 - G_1 \times Q_1$

$K_{fs} = 1,30E-03 \text{ cm/s}$

• Método 2:

$K_{fs} = (C \times Q_2) / [2 \times \pi \times H^2 + C \times \pi \times a^2 + (2 \times \pi \times H / \alpha^2)]$

$\alpha^2 = 12$

$K_{fs} = - \text{ cm/s}$

Taxa constante de fluxo (R_1)
3 leituras consecutivas:

0,032

Taxa constante de fluxo (R_2)
3 leituras consecutivas:

0,087

PERMEÂMETRO DE GUELPH
ENSAIO DE CAMPO

CLIENTE: CVRDENSAIO Nº: EN-06bPROJETO: Pesquisa de MestradoEMPRESA EXECUTORA: PUC-RioLOCAL: Mina Andrade - PDE-05 (1º banco - berma de acesso)DATA EXECUÇÃO: 17/5/2006COORD N: 7.811.595,00COORD E: 689.686,00COTA: 824,00TÉCNICO RESP.: Fernando Saliba / Guilherme Barros

AUXILIAR: _____

CONDIÇÕES DO ENSAIO	
RESERVATÓRIO INTERNO (Y = 2,17cm ²)	<input type="checkbox"/>
RESERVATÓRIOS COMBINADOS (X = 35,39cm ²)	<input checked="" type="checkbox"/>

INFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS	
DIÂMETRO DO FURO:	<u>2,0</u> (pol.)
PROFUNDIDADE DO FURO:	<u>30,00</u> (cm)

Nível de Água no Poço (cm) = 5,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório Δh/Δt (cm/s)
00:00:00	0,70	-
00:01:00	1,10	0,007
00:02:00	1,40	0,005
00:03:00	1,75	0,006
00:04:00	2,00	0,004
00:05:00	2,30	0,005
00:06:00	2,60	0,005
00:07:00	2,90	0,005
00:08:00	3,10	0,003
00:09:00	3,40	0,005
00:10:00	3,60	0,003
00:11:00	3,90	0,005
00:12:00	4,10	0,003
00:13:00	4,40	0,005
00:14:00	4,60	0,003
00:15:00	4,90	0,005
00:16:00	5,10	0,003
00:17:00	5,30	0,003
00:18:00	5,60	0,005
00:19:00	5,80	0,003
00:20:00	6,05	0,004

Nível de Água no Poço (cm) = 20,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório Δh/Δt (cm/s)
00:00:00	13,300	-
00:00:30	14,100	0,027
00:01:00	14,800	0,023
00:01:30	15,400	0,020
00:02:00	15,900	0,017
00:02:30	16,400	0,017
00:03:00	17,000	0,020
00:03:30	17,500	0,017
00:04:00	18,000	0,017
00:04:30	18,500	0,017
00:05:00	18,900	0,013
00:05:30	19,400	0,017
00:06:00	19,800	0,013
00:06:30	20,300	0,017
00:07:00	20,700	0,013
00:07:30	21,200	0,017
00:08:00	21,600	0,013
00:08:30	22,000	0,013
00:09:00	22,450	0,015

Considerações para Cálculo:H₁ = 1º carga hidráulica estabelecida no furo (cm).R₁ = Taxa constante de fluxo, obtida quando R₁ possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s).H₂ = 1º carga hidráulica estabelecida no furo (cm).R₂ = Taxa constante de fluxo, obtida quando R₂ possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s).A_{trans} = Área transversal do reservatório (cm²) podendo ser X ou Y definido de acordo com cada ensaio.X = Área transversal de 2 reservatórios (cm²).Y = Área transversal do reservatório interno (cm²).

a = Raio do poço (cm).

K_{fs} = Condutividade hidráulica saturada (cm/s).Φ_m = Fluxo Potencial Mátrico, expresso em cm²/s.α = Parâmetro alfa, expresso em cm⁻¹.

C = Parâmetro C, proporcional H/a (Gráfico C x H/a)

C₁, C₂ = Fator C correspondente a H₁/a e H₂/a, respectivamente.**Cálculo da Condutividade Hidráulica Saturada de Campo (Elrick et al., 1989)****Método 1:**

C₁ = 1,0

C₂ = 2,1

G₂ = H₁ x C₂ / pi[2 x H₁ x H₂(H₂-H₁) + a²(H₁ x C₂ - H₂ x C₁)]

G₁ = G₂ x [(H₂ x C₁) / (H₁ x C₂)]

G₂ = 0,001 cm² G₁ = 0,002 cm²

Q₁ = A_{trans} x R₁ → Q₁ = 0,177 cm³/s

Q₂ = A_{trans} x R₂ → Q₂ = 0,602 cm³/s

J₁ = (2 x H₂² + a² x C₂)C₁ / 2 x pi[2 x H₁ x H₂(H₂ - H₁) + a²(H₁ x C₂ - H₂ x C₁)]

J₂ = J₁ x [(2 x H₁² + a² x C₁) x C₂] / [(2 x H₂² + a² x C₂) x C₁]

J₁ = 0,042 J₂ = 0,006

Φ_m = J₁ x Q₁ - J₂ x Q₂

Φ_m = 3,79E-03 cm²/s

K_{fs} = G₂ x Q₂ - G₁ x Q₁

K_{fs} = 3,53E-04 cm/s

Método 2:

K_{fs} = (C x Q₂) / [2 x pi x H² + C x pi x a² + (2 x pi x H / α^{*})]

α^{*} = 12

K_{fs} = - cm/s

Taxa constante de fluxo (R₁)
3 leituras consecutivas: 0,005Taxa constante de fluxo (R₂)
3 leituras consecutivas: 0,017

PERMEÂMETRO DE GUELPH
ENSAIO DE CAMPO

CLIENTE: CVRDENSAIO Nº: EN-07aPROJETO: Pesquisa de MestradoEMPRESA EXECUTORA: PUC-RioLOCAL: Mina Andrade - PDE-05 (1º banco - berma de acesso)DATA EXECUÇÃO: 17/5/2006COORD N: 7.811.633,00COORD E: 689.630,00COTA: 824,00TÉCNICO RESP.: Fernando Saliba / Guilherme Barros

AUXILIAR: _____

CONDIÇÕES DO ENSAIO	
RESERVATÓRIO INTERNO ($Y = 2,17\text{cm}^2$)	<input type="checkbox"/>
RESERVATÓRIOS COMBINADOS ($X = 35,39\text{cm}^2$)	<input checked="" type="checkbox"/>

INFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS	
DIÂMETRO DO FURO:	<u>2,0</u> (pol.)
PROFUNDIDADE DO FURO:	<u>30,00</u> (cm)

Nível de Água no Poço (cm) = 5,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório $\Delta h/\Delta t$ (cm/s)
00:00:00	1,40	-
00:01:00	2,05	0,011
00:02:00	2,65	0,010
00:03:00	3,20	0,009
00:04:00	3,70	0,008
00:05:00	4,15	0,008
00:06:00	4,60	0,007
00:07:00	5,05	0,008
00:08:00	5,50	0,008
00:09:00	5,90	0,007
00:10:00	6,30	0,007
00:11:00	6,75	0,008
00:12:00	7,15	0,007
00:13:00	7,55	0,007
00:14:00	7,95	0,007
00:15:00	8,40	0,008
00:16:00	8,75	0,006
00:17:00	9,15	0,007

Nível de Água no Poço (cm) = 20,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório $\Delta h/\Delta t$ (cm/s)
00:00:00	18,200	-
00:00:30	20,700	0,083
00:01:00	22,500	0,060
00:01:30	24,100	0,053
00:02:00	25,500	0,047
00:02:30	26,900	0,047
00:03:00	28,300	0,047
00:03:30	29,600	0,043
00:04:00	30,900	0,043
00:04:30	32,100	0,040
00:05:00	33,300	0,040
00:05:30	34,600	0,043
00:06:00	35,600	0,033

Considerações para Cálculo: $H_1 =$ 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm). $R_1 =$ Taxa constante de fluxo, obtida quando R_1 possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s). $H_2 =$ 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm). $R_2 =$ Taxa constante de fluxo, obtida quando R_2 possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s).Atrans= Área transversal do reservatório (cm^2) podendo ser X ou Y definido de acordo com cada ensaio.X= Área transversal de 2 reservatórios (cm^2).Y= Área transversal do reservatório interno (cm^2).

a = Raio do poço (cm).

 $K_{fs} =$ Condutividade hidráulica saturada (cm/s). $\Phi_m =$ Fluxo Potencial Mátrico, expresso em cm^2/s . $\alpha =$ Parâmetro alfa, expresso em cm^{-1} .C = Parâmetro C, proporcional H/a (Gráfico C x H/a). $C_1, C_2 =$ Fator C correspondente a H_1/a e H_2/a , respectivamente.**Cálculo da Condutividade Hidráulica Saturada de Campo (Elrick et al., 1989)**

• Método 1:

$C_1 = 1,0$

$C_2 = 2,1$

$G_2 = H_1 \times C_2 / \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$

$G_1 = G_2 \times [(H_2 \times C_1) / (H_1 \times C_2)]$

$G_2 = 0,001 \text{ cm}^2$

$G_1 = 0,002 \text{ cm}^2$

$Q_1 = A_{trans} \times R_1$

$Q_1 = 0,248 \text{ cm}^3/\text{s}$

$Q_2 = A_{trans} \times R_2$

$Q_2 = 1,416 \text{ cm}^3/\text{s}$

$J_1 = (2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) C_1 / 2 \times \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$

$J_2 = J_1 \times [(2 \times H_1^2 + a^2 \times C_1) \times C_2] / [(2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) \times C_1]$

$J_1 = 0,042$

$J_2 = 0,006$

$\Phi_m = J_1 \times Q_1 - J_2 \times Q_2$

$\Phi_m = 1,78E-03 \text{ cm}^2/\text{s}$

$K_{fs} = G_2 \times Q_2 - G_1 \times Q_1$

$K_{fs} = 1,21E-03 \text{ cm/s}$

• Método 2:

$K_{fs} = (C \times Q_2) / [2 \times \pi \times H^2 + C \times \pi \times a^2 + (2 \times \pi \times H / \alpha^*)]$

$\alpha^* = 12$

$K_{fs} = - \text{ cm/s}$

Taxa constante de fluxo (R_1)
3 leituras consecutivas:

0,007

Taxa constante de fluxo (R_2)
3 leituras consecutivas:

0,040

PERMEÂMETRO DE GUELPH
ENSAIO DE CAMPO

CLIENTE: CVRDENSAIO Nº: EN-07aPROJETO: Pesquisa de MestradoEMPRESA EXECUTORA: PUC-RioLOCAL: Mina Andrade - PDE-05 (1º banco - berma de acesso)DATA EXECUÇÃO: 17/5/2006COORD N: 7.811.633,00COORD E: 689.630,00COTA: 824,00TÉCNICO RESP.: Fernando Saliba / Guilherme Barros

AUXILIAR: _____

CONDIÇÕES DO ENSAIO	
RESERVATÓRIO INTERNO ($Y = 2,17\text{cm}^2$)	<input type="checkbox"/>
RESERVATÓRIOS COMBINADOS ($X = 35,39\text{cm}^2$)	<input checked="" type="checkbox"/>

INFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS	
DIÂMETRO DO FURO:	<u>2,0</u> (pol.)
PROFUNDIDADE DO FURO:	<u>30,00</u> (cm)

Nível de Água no Poço (cm) = 5,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório $\Delta h/\Delta t$ (cm/s)
00:00:00	1,40	-
00:01:00	2,05	0,011
00:02:00	2,65	0,010
00:03:00	3,20	0,009
00:04:00	3,70	0,008
00:05:00	4,15	0,008
00:06:00	4,60	0,007
00:07:00	5,05	0,008
00:08:00	5,50	0,008
00:09:00	5,90	0,007
00:10:00	6,30	0,007
00:11:00	6,75	0,008
00:12:00	7,15	0,007
00:13:00	7,55	0,007
00:14:00	7,95	0,007
00:15:00	8,40	0,008
00:16:00	8,75	0,006
00:17:00	9,15	0,007

Nível de Água no Poço (cm) = 20,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório $\Delta h/\Delta t$ (cm/s)
00:00:00	18,200	-
00:00:30	20,700	0,083
00:01:00	22,500	0,060
00:01:30	24,100	0,053
00:02:00	25,500	0,047
00:02:30	26,900	0,047
00:03:00	28,300	0,047
00:03:30	29,600	0,043
00:04:00	30,900	0,043
00:04:30	32,100	0,040
00:05:00	33,300	0,040
00:05:30	34,600	0,043
00:06:00	35,600	0,033

Considerações para Cálculo: H_1 = 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm). R_1 = Taxa constante de fluxo, obtida quando R_1 possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s). H_2 = 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm). R_2 = Taxa constante de fluxo, obtida quando R_2 possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s).Atrans = Área transversal do reservatório (cm^2) podendo ser X ou Y definido de acordo com cada ensaio.X = Área transversal de 2 reservatórios (cm^2).Y = Área transversal do reservatório interno (cm^2).

a = Raio do poço (cm).

 K_{fs} = Condutividade hidráulica saturada (cm/s). Φ_m = Fluxo Potencial Mátrico, expresso em cm^2/s . α = Parâmetro alfa, expresso em cm^{-1} .C = Parâmetro C, proporcional H/a (Gráfico C x H/a). C_1, C_2 = Fator C correspondente a H_1/a e H_2/a , respectivamente.**Cálculo da Condutividade Hidráulica Saturada de Campo (Elrick et al., 1989)**

• Método 1:

$C_1 = 1,0$

$C_2 = 2,1$

$G_2 = H_1 \times C_2 / \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$

$G_1 = G_2 \times [(H_2 \times C_1) / (H_1 \times C_2)]$

$G_2 = 0,001 \text{ cm}^2 \quad G_1 = 0,002 \text{ cm}^2$

$Q_1 = A_{trans} \times R_1 \rightarrow Q_1 = 0,248 \text{ cm}^3/\text{s}$

$Q_2 = A_{trans} \times R_2 \rightarrow Q_2 = 1,416 \text{ cm}^3/\text{s}$

$J_1 = (2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) C_1 / 2 \times \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$

$J_2 = J_1 \times [(2 \times H_1^2 + a^2 \times C_1) \times C_2] / [(2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) \times C_1]$

$J_1 = 0,042 \quad J_2 = 0,006$

$\Phi_m = J_1 \times Q_1 - J_2 \times Q_2 \quad \Phi_m = 1,78E-03 \text{ cm}^2/\text{s}$

$K_{fs} = G_2 \times Q_2 - G_1 \times Q_1 \quad K_{fs} = 1,21E-03 \text{ cm/s}$

• Método 2:

$K_{fs} = (C \times Q_2) / [2 \times \pi \times H^2 + C \times \pi \times a^2 + (2 \times \pi \times H / \alpha^*)]$

$\alpha^* = 12$

$K_{fs} = - \text{ cm/s}$

Taxa constante de fluxo (R_1)
3 leituras consecutivas: 0,007Taxa constante de fluxo (R_2)
3 leituras consecutivas: 0,040

PERMEÂMETRO DE GUELPH
ENSAIO DE CAMPO

CLIENTE: CVRDENSAIO Nº: EN-07bPROJETO: Pesquisa de MestradoEMPRESA EXECUTORA: PUC-RioLOCAL: Mina Andrade - PDE-05 (1º banco - berma de acesso)DATA EXECUÇÃO: 17/5/2006COORD N: 7.811.633,00COORD E: 689.630,00COTA: 824,00TÉCNICO RESP.: Fernando Saliba / Guilherme Barros

AUXILIAR: _____

CONDIÇÕES DO ENSAIO	
RESERVATÓRIO INTERNO ($Y = 2,17\text{cm}^2$)	<input type="checkbox"/>
RESERVATÓRIOS COMBINADOS ($X = 35,39\text{cm}^2$)	<input checked="" type="checkbox"/>

INFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS	
DIÂMETRO DO FURO:	<u>2,0</u> (pol.)
PROFUNDIDADE DO FURO:	<u>29,00</u> (cm)

Nível de Água no Poço (cm) = 5,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório $\Delta h/\Delta t$ (cm/s)
00:00:00	0,50	-
00:01:00	2,40	0,032
00:02:00	3,15	0,013
00:03:00	3,85	0,012
00:04:00	4,50	0,011
00:05:00	5,20	0,012
00:06:00	5,90	0,012
00:07:00	6,55	0,011
00:08:00	7,20	0,011
00:09:00	7,90	0,012
00:10:00	8,55	0,011
00:11:00	9,10	0,009
00:12:00	9,70	0,010
00:13:00	10,30	0,010
00:14:00	10,90	0,010

Nível de Água no Poço (cm) = 20,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório $\Delta h/\Delta t$ (cm/s)
00:00:00	18,500	-
00:00:30	19,900	0,047
00:01:00	20,900	0,033
00:01:30	21,900	0,033
00:02:00	22,800	0,030
00:02:30	23,700	0,030
00:03:00	24,250	0,018
00:03:30	24,850	0,020
00:04:00	25,250	0,013
00:04:30	25,700	0,015
00:05:00	26,700	0,033
00:05:30	27,200	0,017
00:06:00	27,800	0,020
00:06:30	28,500	0,023
00:07:00	29,000	0,017
00:07:30	29,500	0,017
00:08:00	30,000	0,017
00:08:30	30,550	0,018
00:09:00	31,050	0,017
00:09:30	31,550	0,017

Considerações para Cálculo: H_1 = 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm). R_1 = Taxa constante de fluxo, obtida quando R_1 possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s). H_2 = 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm). R_2 = Taxa constante de fluxo, obtida quando R_2 possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s). A_{trans} = Área transversal do reservatório (cm^2) podendo ser X ou Y definido de acordo com cada ensaio.X = Área transversal de 2 reservatórios (cm^2).Y = Área transversal do reservatório interno (cm^2).

a = Raio do poço (cm).

 K_{fs} = Condutividade hidráulica saturada (cm/s). Φ_m = Fluxo Potencial Mátrico, expresso em cm^2/s . α = Parâmetro alfa, expresso em cm^{-1} .

C = Parâmetro C, proporcional H/a (Gráfico C x H/a)

 C_1, C_2 = Fator C correspondente a H_1/a e H_2/a , respectivamente.**Cálculo da Condutividade Hidráulica Saturada de Campo (Elrick et al., 1989)**

• Método 1:

$C_1 = 1,0$

$C_2 = 2,1$

$G_2 = H_1 \times C_2 / \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$

$G_1 = G_2 \times [(H_2 \times C_1) / (H_1 \times C_2)]$

$G_2 = 0,001 \text{ cm}^2 \quad G_1 = 0,002 \text{ cm}^2$

$Q_1 = A_{trans} \times R_1 \rightarrow Q_1 = 0,354 \text{ cm}^3/\text{s}$

$Q_2 = A_{trans} \times R_2 \rightarrow Q_2 = 0,602 \text{ cm}^3/\text{s}$

$J_1 = (2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) C_1 / 2 \times \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$

$J_2 = J_1 \times [(2 \times H_1^2 + a^2 \times C_1) \times C_2] / [(2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) \times C_1]$

$J_1 = 0,042 \quad J_2 = 0,006$

$\Phi_m = J_1 \times Q_1 - J_2 \times Q_2$

$\Phi_m = 1,13E-02 \text{ cm}^2/\text{s}$

$K_{fs} = G_2 \times Q_2 - G_1 \times Q_1$

$K_{fs} = \text{Utilizar Método 2}$

• Método 2:

$K_{fs} = (C \times Q_2) / [2 \times \pi \times H^2 + C \times \pi \times a^2 + (2 \times \pi \times H / \alpha^*)]$

$\alpha^* = 12$

$K_{fs} = 3,46E-03 \text{ cm/s}$

Taxa constante de fluxo (R_1)
3 leituras consecutivas: 0,010Taxa constante de fluxo (R_2)
3 leituras consecutivas: 0,017

PERMEÂMETRO DE GUELPH
ENSAIO DE CAMPO



CLIENTE: CVRD ENSAIO Nº: EN-10a
 PROJETO: Pesquisa de Mestrado EMPRESA EXECUTORA: PUC-Rio
 LOCAL: Mina Andrade - PDE-05 (ombreira esquerda) DATA EXECUÇÃO: 20/7/2006
 COORD N: 7.811.698,00 COORD E: 689.443,00 COTA: _____
 TÉCNICO RESP.: Fernando Saliba / Guilherme Barros AUXILIAR: _____

CONDIÇÕES DO ENSAIO	
RESERVATÓRIO INTERNO (Y = 2,17cm ²)	<input type="checkbox"/>
RESERVATÓRIOS COMBINADOS (X = 35,39cm ²)	<input checked="" type="checkbox"/>

INFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS	
DIÂMETRO DO FURO:	<u>2,0</u> (pol.)
PROFUNDIDADE DO FURO:	<u>49,00</u> (cm)

Nível de Água no Poço (cm) = 5,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório Δh/Δt (cm/s)
00:00:00	6,00	-
00:00:30	10,00	0,133
00:01:00	13,30	0,110
00:01:30	16,80	0,117
00:02:00	19,80	0,100
00:02:30	22,80	0,100
00:03:00	25,80	0,100
00:03:30	28,75	0,098
00:04:00	31,40	0,088
00:04:30	34,20	0,093
00:05:00	36,80	0,087
00:05:30	39,50	0,090
00:06:00	42,20	0,090
00:06:30	45,20	0,100
00:07:00	47,40	0,073
00:07:30	50,00	0,087
00:08:00	52,70	0,090
00:08:30	55,50	0,093
00:09:00	58,00	0,083
00:09:30	60,50	0,083
00:10:00	63,00	0,083

Nível de Água no Poço (cm) = 10,00		
Tempo t (s)	Leitura Nível Reservatório h (cm)	Taxa Δ Nível Reservatório Δh/Δt (cm/s)
00:00:00	7,000	-
00:00:30	12,600	0,187
00:01:00	17,000	0,147
00:01:30	21,200	0,140
00:02:00	25,500	0,143
00:02:30	29,400	0,130
00:03:00	33,200	0,127
00:03:30	37,500	0,143
00:04:00	41,100	0,120
00:04:30	45,000	0,130
00:05:00	48,800	0,127
00:06:30	56,500	0,086
00:07:00	60,500	0,133
00:07:30	64,500	0,133
00:08:00	68,500	0,133
00:08:30	71,500	0,100

Considerações para Cálculo:

H₁ = 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm).
 R₁ = Taxa constante de fluxo, obtida quando R₁ possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s).
 H₂ = 1ª carga hidráulica estabelecida no furo (cm).
 R₂ = Taxa constante de fluxo, obtida quando R₂ possui o mesmo valor em 3 leituras com intervalos de tempo consecutivos (cm/s).
 A_{trans} = Área transversal do reservatório (cm²) podendo ser X ou Y definido de acordo com cada ensaio.
 X = Área transversal de 2 reservatórios (cm²).
 Y = Área transversal do reservatório interno (cm²).
 a = Raio do poço (cm).
 K_{fs} = Condutividade hidráulica saturada (cm/s).
 Φ_m = Fluxo Potencial Mátrico, expresso em cm²/s.
 α = Parâmetro alfa, expresso em cm⁻¹.
 C = Parâmetro C, proporcional H/a (Gráfico C x H/a)
 C₁, C₂ = Fator C correspondente a H₁/a e H₂/a, respectivamente.

Cálculo da Condutividade Hidráulica Saturada de Campo (Elrick et al., 1989)

• Método 1:

$$C_1 = 1,0 \quad C_2 = 1,5$$

$$G_2 = H_1 \times C_2 / \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$$

$$G_1 = G_2 \times [(H_2 \times C_1) / (H_1 \times C_2)]$$

$$G_2 = 0,005 \text{ cm}^2 \quad G_1 = 0,007 \text{ cm}^2$$

$$Q_1 = A_{trans} \times R_1 \quad \rightarrow \quad Q_1 = 2,937 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = A_{trans} \times R_2 \quad \rightarrow \quad Q_2 = 4,707 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$J_1 = (2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) C_1 / 2 \times \pi [2 \times H_1 \times H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \times C_2 - H_2 \times C_1)]$$

$$J_2 = J_1 \times [(2 \times H_1^2 + a^2 \times C_1) \times C_2] / [(2 \times H_2^2 + a^2 \times C_2) \times C_1]$$

$$J_1 = 0,066 \quad J_2 = 0,026$$

$$\Phi_m = J_1 \times Q_1 - J_2 \times Q_2 \quad \Phi_m = 7,22E-02 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$K_{fs} = G_2 \times Q_2 - G_1 \times Q_1 \quad K_{fs} = 4,54E-03 \text{ cm/s}$$

• Método 2:

$$K_{fs} = (C \times Q_2) / [2 \times \pi \times H^2 + C \times \pi \times a^2 + (2 \times \pi \times H / \alpha^*)]$$

$$\alpha^* = 12$$

$$K_{fs} = - \text{ cm/s}$$

Taxa constante de fluxo (R₁)
3 leituras consecutivas: 0,083

Taxa constante de fluxo (R₂)
3 leituras consecutivas: 0,133

C.2. Curvas Características do Estéril e Alteração de Rocha

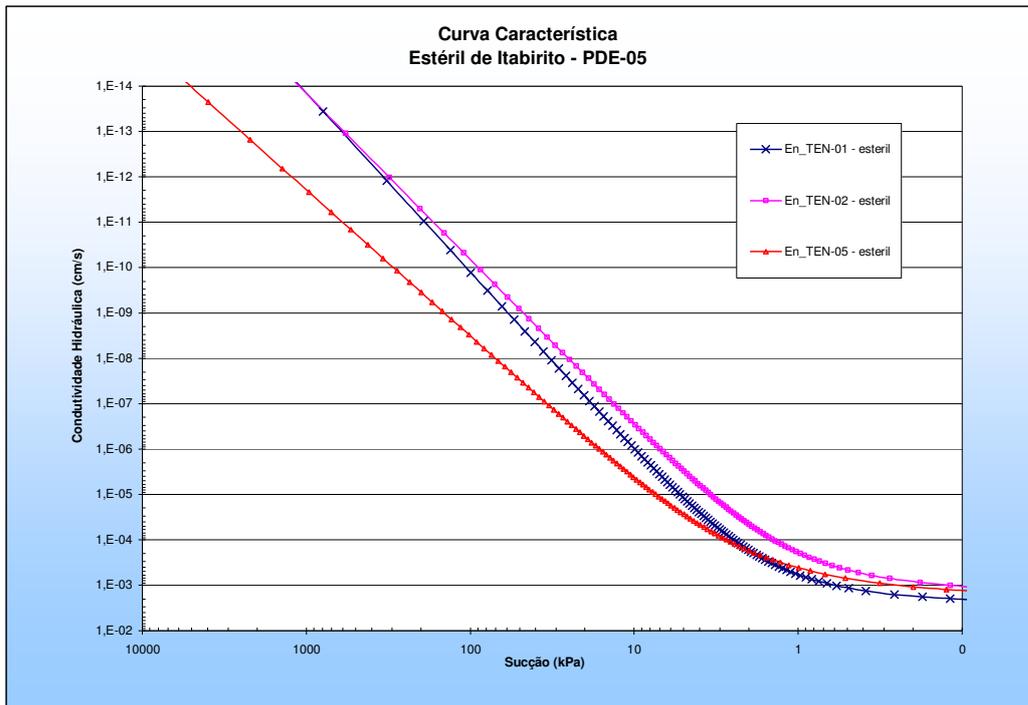


Figura C.2.1 – Curva característica de retenção de umidade para o material estéril da pilha PDE-05 obtidos a partir da retroanálise numérica dos dados dos ensaios En_TEN-01, En_TEN-02 e En_TEN-05 (escala log-log).

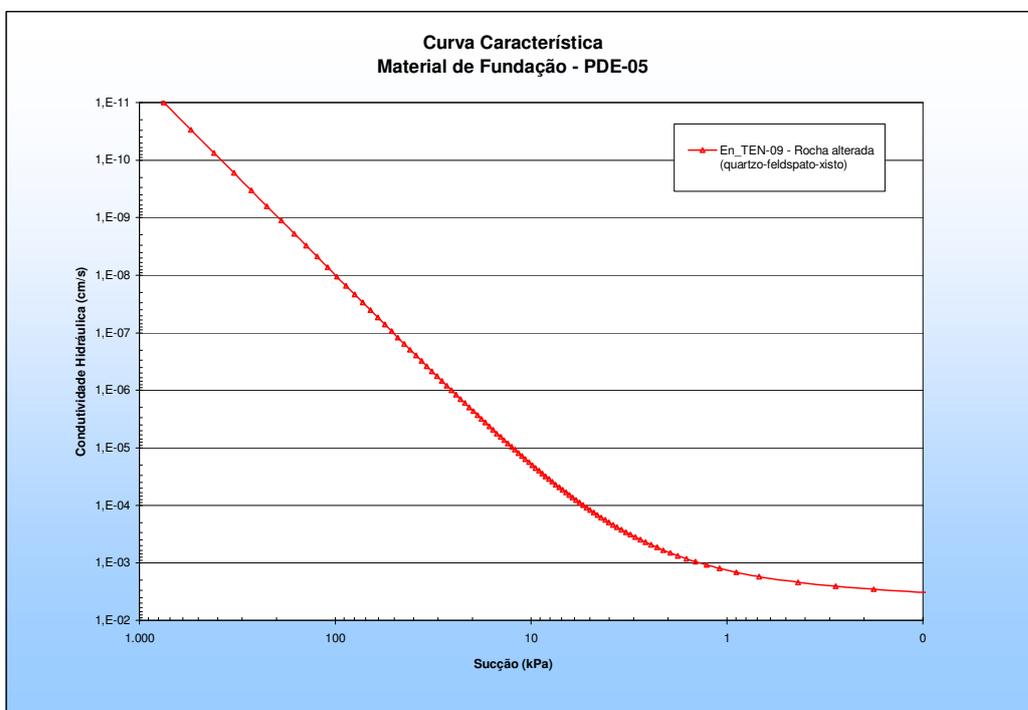


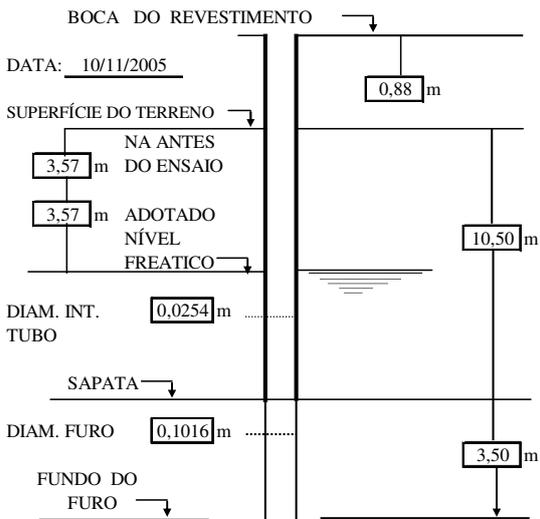
Figura C.2.2 – Curva característica de retenção de umidade para alteração de rocha quartzo-feldspato-xisto localizado na ombreira esquerda da PDE-05 obtido a partir da retroanálise numérica dos dados do ensaio En_TEN-09 (escala log-log).

C.3. Resultados dos Ensaio de Permeabilidade

ENSAIO DE PERMEABILIDADE EM SOLOS ENSAIO EM SONDAgens

Folha _____

CLIENTE: CVRD SONDAGEM Nº: PZANPE01-01
 OBRA: Mina do Andrade ENSAIO Nº: 01
 FIRMA EXECUTORA: GEOMASTER/VOGBR LOCAL: MG COTA: 923,87
 COORD N: 7.811.292,322 COORD E: 689.298,342 INÍCIO: _____ TÉRMINO: _____
 GEOL OU ENG RESP.: Fernando Saliba TÉCNICO: _____ SONDADOR: _____



TRECHO ENSAIADO: de 10,50 a 14,00 m

ENSAIO REALIZADO		CONDIÇÕES DO ENSAIO	
ABAIXO DO N.A	<input checked="" type="checkbox"/>	INFILTRAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/>
ACIMA DO N.A	<input type="checkbox"/>	REBAIXAMENTO	<input type="checkbox"/>
COM ARTESIANISMO	<input type="checkbox"/>		
LEITURAS DE VAZÃO			
HIDRÔMETRO	_____ m³/h		<input type="checkbox"/>
TAMBOR DE	_____ litros		<input type="checkbox"/>
(Diâmetro de	_____ cm)		
PROVETA			<input checked="" type="checkbox"/>
(proveta graduada de	_____ 1000ml		

HORA	TEMPO ACUMULADO (Minuto)	REBAIXAMENTO (1)	VOLUME ACUMULADO (1)
	0:00:00		0,000
	0:02:00		0,840
	0:04:00		1,660
	0:06:00		2,430
	0:08:00		3,200
	0:10:00		3,950

HORA	TEMPO ACUMULADO (Minuto)	REBAIXAMENTO (1)	VOLUME ACUMULADO (1)

Coluna d' Água Prof. (m)	Vazão (Kg/cm2) (l/min.)	Absorção (l/min. x m)	Perda Especifica (l/min. x m x Kg/cm2)	Fator de Correção	K (cm/s)
4,45	0,445	0,395	0,113	1,25E-04	3,17E-05

OBS: Piezômetro (SR-02)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0421298/CA

**ENSAIO DE PERMEABILIDADE EM SOLOS
ENSAIO EM SONDA GENS**

Folha _____

CLIENTE: CVRD

SONDAGEM Nº: PZANPE03-02

OBRA: Mina do Andrade

ENSAIO Nº: 01

FIRMA EXECUTORA: GEOMASTER/VOGBR LOCAL: MG

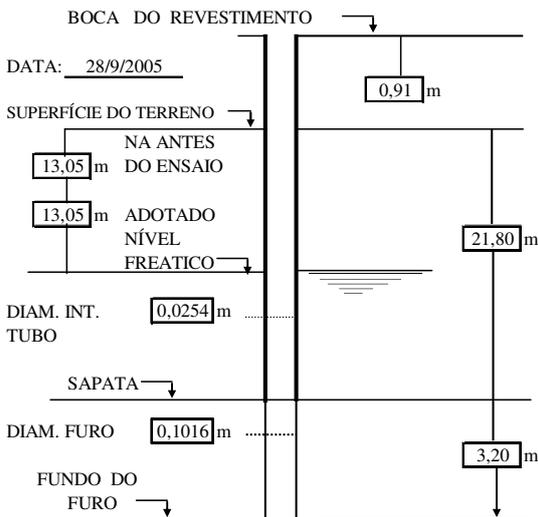
COTA: 880,94

COORD N: 7.810.469,824 COORD E: 690.550,842

INÍCIO: _____ TÉRMINO: _____

GEOL OU ENG RESP.: Fernando Saliba TÉCNICO: _____

SONDADOR: _____



TRECHO ENSAIADO: de 21,80 a 25,00 m

ENSAIO REALIZADO	CONDIÇÕES DO ENSAIO
ABAIXO DO N.A. ACIMA DO N.A. COM ARTESIANISMO	<input checked="" type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
INFILTRAÇÃO REBAIXAMENTO <input checked="" type="checkbox"/> X	
LEITURAS DE VAZÃO	
HIDRÔMETRO _____ m ² /h	_____ <input type="checkbox"/>
TAMBOR DE (Diâmetro de _____ cm)	litros _____ <input type="checkbox"/>
PROVETA (proveta graduada de _____ 1000ml)	<input checked="" type="checkbox"/> X

HORA	TEMPO ACUMULADO (Minuto)	REBAIXAMENTO (1)	VOLUME ACUMULADO (1)
	0:00:00		0,000
	0:02:00		1,110
	0:04:00		2,110
	0:06:00		3,200
	0:08:00		4,310
	0:10:00		5,400

HORA	TEMPO ACUMULADO (Minuto)	REBAIXAMENTO (1)	VOLUME ACUMULADO (1)

Coluna d' Água Prof. (m)	Vazão (Kg/cm ²)	Absorção (l/min. x m)	Perda Específica (l/min. x m x Kg/cm ²)	Fator de Correção	K (cm/s)
13,96	1,396	0,540	0,169	1,23E-04	1,49E-05

OBS: Piezômetro (SR-04)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0421298/CA

**ENSAIO DE PERMEABILIDADE EM SOLOS
ENSAIO EM SONDAGENS**

Folha _____

CLIENTE: CVRD

SONDAGEM Nº: PZANPE03-03

OBRA: Mina do Andrade

ENSAIO Nº: 01

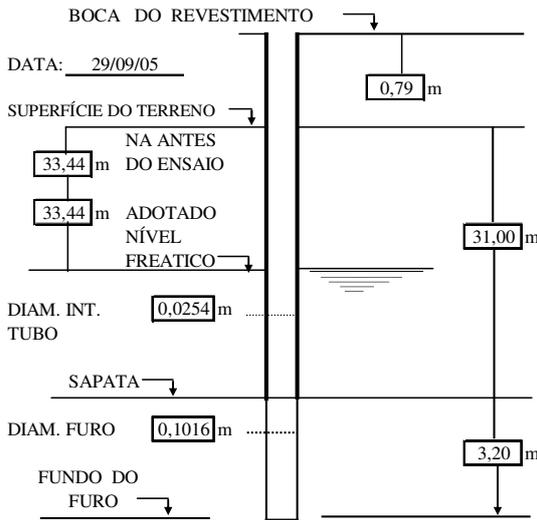
FIRMA EXECUTORA: GEOMASTER/VOGBR

LOCAL: MG

COTA: 869,88

COORD N: 7.810.830,559 COORD E: 690.637,534 INÍCIO: _____ TÉRMINO: _____

GEOL OU ENG RESP.: Fernando Saliba TÉCNICO: _____ SONDADOR: _____



TRECHO ENSAIADO: de 31,00 a 34,20 m

ENSAIO REALIZADO		CONDIÇÕES DO ENSAIO	
ABAIXO DO N.A	<input type="checkbox"/>	INFILTRAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/>
ACIMA DO N.A	<input checked="" type="checkbox"/>	REBAIXAMENTO	<input type="checkbox"/>
COM ARTESIANISMO	<input type="checkbox"/>		
LEITURAS DE VAZÃO			
HIDRÔMETRO	_____ m³/h		<input type="checkbox"/>
TAMBOR DE	_____ litros		<input type="checkbox"/>
(Diâmetro de	_____ cm)		
PROVETA			<input checked="" type="checkbox"/>
(proveta graduada de	1000ml)	

HORA	TEMPO ACUMULADO (Minuto)	REBAIXAMENTO (1)	VOLUME ACUMULADO (1)
	0:00:00		0,000
	0:02:00		80,200
	0:04:00		162,200
	0:06:00		243,200
	0:08:00		325,200
	0:10:00		407,200

HORA	TEMPO ACUMULADO (Minuto)	REBAIXAMENTO (1)	VOLUME ACUMULADO (1)

Prof. (m)	Coluna d' Água (Kgf/cm2)	Vazão (l/min.)	Absorção (l/min. x m)	Perda Específica (l/min. x m x Kgf/cm2)	Fator de Correção	K (cm/s)
34,99	3,499	40,720	12,725	3,64	1,23E-04	4,47E-04

OBS: Piezômetro (SR-06)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0421298/CA

ENSAIO DE PERMEABILIDADE EM SOLOS
ENSAIO EM SONDAGENS

Folha _____

CLIENTE: CVRD

SONDAGEM Nº: PZANPE03-04

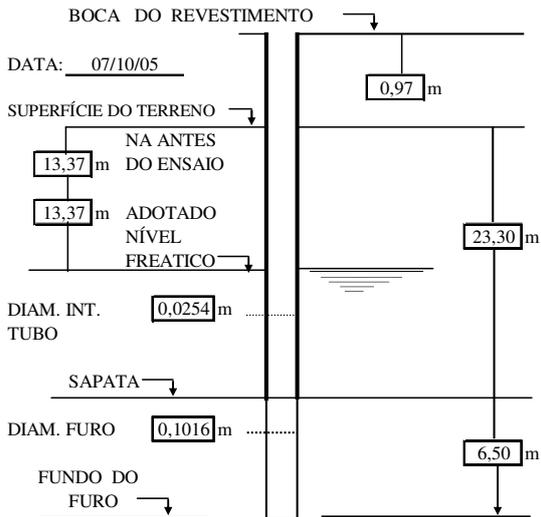
OBRA: Mina do Andrade

ENSAIO Nº: 01

FIRMA EXECUTORA: GEOMASTER/VOGBR LOCAL: MG COTA: 846,84

COORD N: 7.810.879,505 COORD E: 690.612,126 INÍCIO: _____ TÉRMINO: _____

GEOL OU ENG RESP.: Fernando Saliba TÉCNICO: _____ SONDADOR: _____



TRECHO ENSAIADO: de 23,30 a 29,80 m

ENSAIO REALIZADO		CONDIÇÕES DO ENSAIO	
ABAIXO DO N.A	<input checked="" type="checkbox"/>	INFILTRAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/>
ACIMA DO N.A	<input type="checkbox"/>	REBAIXAMENTO	<input type="checkbox"/>
COM ARTESIANISMO	<input type="checkbox"/>		
LEITURAS DE VAZÃO			
HIDRÔMETRO	_____ m³/h	_____	
TAMBOR DE	_____ litros	_____	
(Diâmetro de _____ cm)			
PROVETA	_____		<input checked="" type="checkbox"/>
(proveta graduada de 1000ml)			

HORA	TEMPO ACUMULADO (Minuto)	REBAIXAMENTO (1)	VOLUME ACUMULADO (1)
	0:00:00		0,000
	0:02:00		7,900
	0:04:00		15,790
	0:06:00		22,790
	0:08:00		29,890
	0:10:00		37,240

HORA	TEMPO ACUMULADO (Minuto)	REBAIXAMENTO (1)	VOLUME ACUMULADO (1)

Prof. (m)	Coluna d' Água (Kg/cm2)	Vazão (l/min.)	Absorção (l/min. x m)	Perda Específica (l/min. x m x Kg/cm2)	Fator de Correção	K (cm/s)
14,34	1,434	3,724	0,573	0,40	1,50E-04	5,99E-05

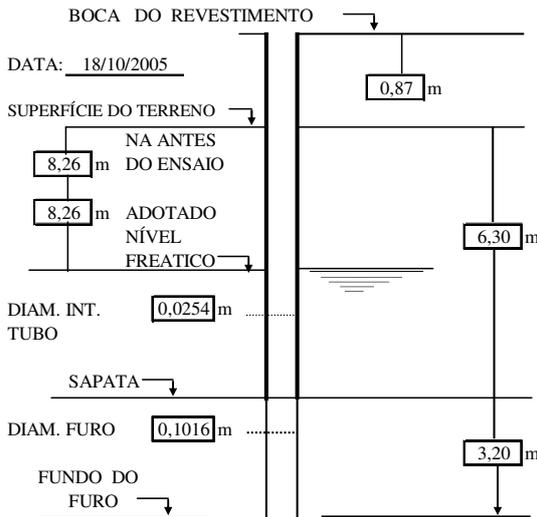
OBS: Piezômetro (SR-07)

ENSAIO DE PERMEABILIDADE EM SOLOS

ENSAIO EM SONDAGENS

Folha _____

CLIENTE: CVRD SONDAÇÃO Nº: PZANPE03-05
 OBRA: Mina do Andrade ENSAIO Nº: 01
 FIRMA EXECUTORA: GEOMASTER/VOGBR LOCAL: MG COTA: 839,56
 COORD N: 7.810.897,078 COORD E: 690.591,997 INÍCIO: _____ TÉRMINO: _____
 GEOL OU ENG RESP.: Fernando Saliba TÉCNICO: _____ SONDADOR: _____

TRECHO ENSAIADO: de 6,30 a 9,50 m

ENSAIO REALIZADO	CONDIÇÕES DO ENSAIO
ABAIXO DO N.A. <input type="checkbox"/> ACIMA DO N.A. <input checked="" type="checkbox"/> COM ARTESIANISMO <input type="checkbox"/>	INFILTRAÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> REBAIXAMENTO <input type="checkbox"/>
LEITURAS DE VAZÃO	
HIDRÔMETRO _____ m ³ /h _____	<input type="checkbox"/>
TAMBOR DE _____ litros _____ (Diâmetro de _____ cm)	<input type="checkbox"/>
PROVETA _____ (proveta graduada de 1000ml)	<input checked="" type="checkbox"/>

HORA	TEMPO ACUMULADO (Minuto)	REBAIXAMENTO (1)	VOLUME ACUMULADO (1)
	0:00:00		0,000
	0:02:00		69,800
	0:04:00		139,700
	0:06:00		209,700
	0:08:00		279,500
	0:10:00		349,300

HORA	TEMPO ACUMULADO (Minuto)	REBAIXAMENTO (1)	VOLUME ACUMULADO (1)

Prof. (m)	Coluna d' Água (Kg/cm ²)	Vazão (l/min.)	Absorção (l/min. x m)	Perda Específica (l/min. x m x Kg/cm ²)	Fator de Correção	K (cm/s)
10,37	1,037	34,930	10,916	10,53	1,23E-04	1,29E-03

OBS: Piezômetro (SR-08)

ENSAIO DE PERMEABILIDADE EM SOLOS ENSAIO EM SONDAGENS

Folha _____

CLIENTE: CVRD

SONDAGEM Nº: PZ-ANPE05-02

OBRA: Mina do Andrade

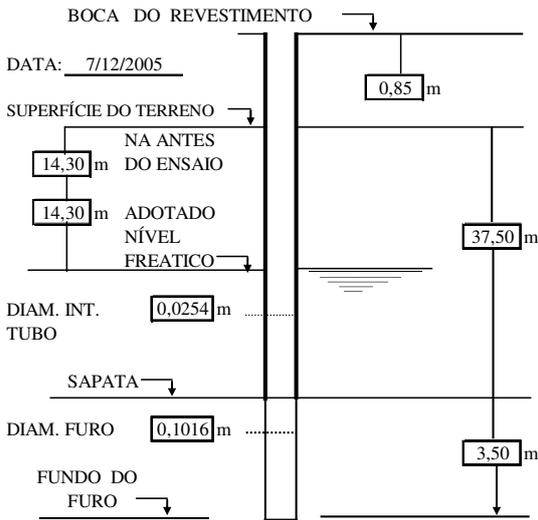
ENSAIO Nº: 01

FIRMA EXECUTORA: GEOMASTER/VOGBR

LOCAL: MG COTA: 838,17

COORD N: 7.811.596,359 COORD E: 689.613,098 INÍCIO: _____ TÉRMINO: _____

GEOL OU ENG RESP.: Fernando Saliba TÉCNICO: _____ SONDADOR: _____



TRECHO ENSAIADO: de 37,50 a 41,00 m

ENSAIO REALIZADO		CONDIÇÕES DO ENSAIO	
ABAIXO DO N.A	<input checked="" type="checkbox"/>	INFILTRAÇÃO	<input checked="" type="checkbox"/>
ACIMA DO N.A	<input type="checkbox"/>	REBAIXAMENTO	<input type="checkbox"/>
COM ARTESIANISMO	<input type="checkbox"/>		
LEITURAS DE VAZÃO			
HIDRÔMETRO	_____ m ³ /h	_____	<input type="checkbox"/>
TAMBOR DE	_____ litros	_____	<input type="checkbox"/>
(Diâmetro de	_____ cm)		
PROVETA		_____	<input checked="" type="checkbox"/>
(proveta graduada de	1000ml)	

HORA	TEMPO ACUMULADO (Minuto)	REBAIXAMENTO (1)	VOLUME ACUMULADO (1)
	0:00:00		0,000
	0:02:00		3,600
	0:04:00		7,270
	0:06:00		10,820
	0:08:00		14,390
	0:10:00		17,950

HORA	TEMPO ACUMULADO (Minuto)	REBAIXAMENTO (1)	VOLUME ACUMULADO (1)

Prof. (m)	Coluna d' Água (Kg/cm ²)	Vazão (l/min.)	Absorção (l/min. x m)	Perda Específica (l/min. x m x Kg/cm ²)	Fator de Correção	K (cm/s)
15,15	1,515	1,795	0,513	0,34	1,25E-04	4,23E-05

OBS: Piezômetro (SR-03)

C.4. Resultados dos Ensaio de Laboratório

Ensaio de Adensamento Edométrico																	
	Interessado: Fernando Saliba Projeto: Dissertação Local: PUC-Rio Amostra: Bloco 1 - AM-03 (ensaio 1)										Data: 25/05/06 Ensaio: Adensamento convencional						
	Dados do Corpo de Prova Diâmetro (cm): 10,10 Área inicial (cm ²): 80,12 Densidade média dos grãos (g/cm ³): 2,65 Altura inicial (cm): 3,00 Umidade inicial (%): 8,42 Peso total da amostra (g): 372,28 Volume da amostra (cm ³): 240,35 Índice vazios inicial: 0,85 Peso da amostra seca (g): 343,38 Volume de sólidos (cm ³): 129,62 Grau saturação inicial (%): 26,10 Peso específico seco (g/cm ³): 1,43 Volume de vazios (cm ³): 110,72 Umidade final (%): 21,57 Peso específico saturado (g/cm ³): 2,28																
	Estágio	σ_v (Kg/cm ²)	σ_v (kPa)	H _i (mm)	H _f (mm)	ϵ_v (%)	e	e/e ₀	t ₉₀ (seg)	H _d (cm)	c _v (cm ² /s)	av	mv	D	k (cm/s)	n = 1+e	
C a r r e g a m e n t o	0	0	0	30,00	30,00	0,00	0,854	1,00									
	1	0,05	5	30,00	29,89	0,37	0,847	0,99	0,50	1,50	3,8	1,40E-03	7,57E-04	1,321,0	2,82E-04	0,459	
	2	0,20	20	29,89	29,60	1,33	0,830	0,97	0,10	1,49	18,8	1,22E-03	6,59E-04	1,516,7	1,21E-03	0,453	
	3	0,40	39	29,60	29,49	1,70	0,823	0,96	0,10	1,48	18,5	3,47E-04	1,89E-04	5,279,6	3,44E-04	0,451	
	4	0,80	78	29,49	29,08	3,06	0,797	0,93	0,10	1,46	18,2	6,44E-04	3,53E-04	2,829,3	6,30E-04	0,444	
	5	1,50	147	29,08	28,62	4,60	0,769	0,90	0,10	1,44	17,6	4,16E-04	2,31E-04	4,322,5	4,00E-04	0,435	
	6	3,00	294	28,62	27,91	6,97	0,725	0,85	0,10	1,41	16,9	2,98E-04	1,68E-04	5,939,8	2,80E-04	0,420	
	7	6,00	589	27,91	27,08	9,75	0,673	0,79	0,10	1,37	16,0	1,75E-04	1,02E-04	9,837,0	1,60E-04	0,402	
	8	9,00	883	27,08	26,46	11,80	0,635	0,74	0,10	1,34	15,2	1,29E-04	7,72E-05	12,956,4	1,15E-04	0,389	
9	12,00	1177	26,46	26,02	13,28	0,608	0,71	0,10	1,31	14,6	9,35E-05	5,71E-05	17,499,3	8,18E-05	0,378		
D e s c a r	10	6,00	589	26,02	26,13	12,90	0,615	0,72	0,25	1,30	5,8	1,21E-05	7,51E-06	133,151,6	4,25E-06	0,381	
	11	1,50	147	26,13	26,30	12,33	0,626	0,73	1,00	1,31	1,5	2,39E-05	1,48E-05	67,456,7	2,12E-06	0,385	
	12	0,80	78	26,30	26,36	12,13	0,629	0,74	0,10	1,32	14,7	5,49E-05	3,38E-05	29,608,0	4,87E-05	0,386	
	13	0,40	39	26,36	26,44	11,87	0,634	0,74	1,00	1,32	1,5	1,20E-04	7,35E-05	13,611,1	1,06E-05	0,388	
	14	0,20	20	26,44	26,49	11,69	0,638	0,75	0,50	1,32	3,0	1,76E-04	1,08E-04	9,262,7	3,14E-05	0,389	

Ensaio de Adensamento Edométrico																	
	Interessado: Fernando Saliba Projeto: Dissertação Local: PUC-Rio Amostra: Bloco 1-AM-03 (ensaio 2)										Data: 25/05/06 Ensaio: Adensamento convencional						
	Dados do Corpo de Prova Diâmetro (cm): 10,10 Área inicial (cm ²): 80,12 Densidade média dos grãos (g/cm ³): 2,65 Altura inicial (cm): 2,95 Umidade inicial (%): 6,82 Peso total da amostra (g): 367,54 Volume da amostra (cm ³): 236,34 Índice vazios inicial: 0,82 Peso da amostra seca (g): 344,07 Volume de sólidos (cm ³): 129,88 Grau saturação inicial (%): 22,05 Peso específico seco (g/cm ³): 1,46 Volume de vazios (cm ³): 106,46 Umidade final (%): 22,15 Peso específico saturado (g/cm ³): 2,28																
	Estágio	σ_v (Kg/cm ²)	σ_v (kPa)	H _i (mm)	H _f (mm)	ϵ_v (%)	e	e/e ₀	t ₉₀ (seg)	H _d (cm)	c _v (cm ² /s)	av	mv	D	k (cm/s)	n = 1+e	
C a r r e g a m e n t o	0	0	0	29,50	29,50	0,00	0,820	1,00									
	1	0,05	5	29,50	29,40	0,34	0,814	0,99	0,10	1,47	18,4	1,27E-03	6,99E-04	1,429,9	1,26E-03	0,449	
	2	0,20	20	29,40	29,20	1,00	0,801	0,98	0,10	1,47	18,2	8,22E-04	4,53E-04	2,207,2	8,09E-04	0,445	
	3	0,40	39	29,20	28,97	1,79	0,787	0,96	0,10	1,45	17,9	7,33E-04	4,07E-04	2,459,2	7,15E-04	0,440	
	4	0,80	78	28,97	28,55	3,22	0,761	0,93	0,10	1,44	17,5	6,60E-04	3,69E-04	2,706,7	6,35E-04	0,432	
	5	1,50	147	28,55	28,13	4,66	0,735	0,90	0,10	1,42	17,0	3,83E-04	2,17E-04	4,602,3	3,63E-04	0,424	
	6	3,00	294	28,13	27,46	6,93	0,694	0,85	0,10	1,39	16,4	2,81E-04	1,62E-04	6,177,0	2,60E-04	0,410	
	7	6,00	589	27,46	26,61	9,79	0,642	0,78	0,10	1,35	15,5	1,77E-04	1,04E-04	9,573,5	1,59E-04	0,391	
	8	9,00	883	26,61	26,09	11,56	0,609	0,74	0,10	1,32	14,7	1,09E-04	6,64E-05	15,060,8	9,59E-05	0,379	
9	12,00	1177	26,09	25,66	13,03	0,583	0,71	0,10	1,29	14,2	9,14E-05	5,68E-05	17,611,4	7,90E-05	0,368		
D e s c a r	10	6,00	589	25,66	25,76	12,68	0,589	0,72	0,25	1,29	5,6	1,10E-05	6,95E-06	143,814,6	3,82E-06	0,371	
	11	1,50	147	25,76	25,98	11,94	0,603	0,74	0,10	1,29	14,2	3,06E-05	1,93E-05	51,925,8	2,68E-05	0,376	
	12	0,80	78	25,98	26,05	11,69	0,607	0,74	0,10	1,30	14,3	6,56E-05	4,09E-05	24,438,1	5,76E-05	0,378	
	13	0,40	39	26,05	26,13	11,42	0,612	0,75	1,00	1,30	1,4	1,23E-04	7,63E-05	13,106,2	1,08E-05	0,380	
	14	0,20	20	26,13	26,22	11,14	0,617	0,75	0,33	1,31	4,4	2,67E-04	1,66E-04	6,031,4	7,08E-05	0,382	

Densidade dos Grãos

 PUC RIO	Interessado: Fernando Saliba	Data: 6/5/2006		
	Projeto: Dissertação Mestrado	Ensaio: 01		
	Local: PUC-Rio			
	Amostra: AM-01 - Estéril de Itabirito da PDE-05 (superficial)			
Picnômetro n.º	02	03	01	
Volume nominal do frasco (ml)	250	250	250	
T = temperatura (°C)	21,5	21,5	21,5	
W _{fa} = peso do frasco+água	325.66	319.23	328.65	
W _s = peso do solo	25.00	25.00	25.00	
W _{fas} = peso do frasco+agua+solo	344.59	338.16	347.59	
W _s -W _{fas} +W _{fa}	6.07	6.07	6.06	
G _{wt} (obtido automaticamente do ábaco)	0.99790	0.99790	0.99790	
Densidade dos Grãos: $G_s = (W_s \cdot G_{wt}) / (W_s \cdot W_{fas} + W_{fa})$	4.1100	4.1100	4.1167	
Densidade relativa dos grãos: $G_{ds} = G_s / G_{wt(20°C)}$	4.1174	4.1174	4.1242	
Média da densidade dos grãos: G _s	4.112		g/cm³	
Média da densidade relativa dos grãos: G _{ds}	4.120		g/cm³	

Densidade dos Grãos

 PUC RIO	Interessado: Fernando Saliba	Data: 6/5/2006		
	Projeto: Dissertação Mestrado	Ensaio: 01		
	Local: PUC-Rio			
	Amostra: AM-02 - Estéril de Itabirito da PDE-05 (superficial)			
Picnômetro n.º	01	02	03	
Volume nominal do frasco (ml)	250	250	250	
T = temperatura (°C)	21,5	21,5	21,5	
W _{fa} = peso do frasco+água	328.59	325.68	319.24	
W _s = peso do solo	25.00	25.00	25.00	
W _{fas} = peso do frasco+agua+solo	347.53	344.62	338.19	
W _s -W _{fas} +W _{fa}	6.06	6.06	6.05	
G _{wt} (obtido automaticamente do ábaco)	0.99790	0.99790	0.99790	
Densidade dos Grãos: $G_s = (W_s \cdot G_{wt}) / (W_s \cdot W_{fas} + W_{fa})$	4.1167	4.1167	4.1236	
Densidade relativa dos grãos: $G_{ds} = G_s / G_{wt(20°C)}$	4.1242	4.1242	4.1310	
Média da densidade dos grãos: G _s	4.119		g/cm³	
Média da densidade relativa dos grãos: G _{ds}	4.126		g/cm³	

Densidade dos Grãos

 PUC RIO	Interessado: Fernando Saliba	Data: 6/6/2006			
	Projeto: Dissertação Mestrado	Ensaio: 01			
	Local: PUC-Rio				
	Amostra: AM-03 - Solo residual quartzo-feldspato-xisto - fundação da PDE-05				
Picnômetro n.º	01	02	03	10	
Volume nominal do frasco (ml)	250	250	250	250	
T = temperatura (°C)	21,5	21,5	21,5	21,5	
W _{fa} = peso do frasco+água	328.6	325.66	319.25	328.34	
W _s = peso do solo	25.00	25.00	25.00	25.00	
W _{fas} = peso do frasco+agua+solo	344.18	341.24	334.83	343.93	
W _s -W _{fas} +W _{fa}	9.42	9.42	9.42	9.41	
G _{wt} (obtido automaticamente do ábaco)	0.99790	0.99790	0.99790	0.99790	
Densidade dos Grãos: $G_s = (W_s \cdot G_{wt}) / (W_s \cdot W_{fas} + W_{fa})$	2.6484	2.6484	2.6484	2.6512	
Densidade relativa dos grãos: $G_{ds} = G_s / G_{wt(20°C)}$	2.6531	2.6531	2.6531	2.6559	
Média da densidade dos grãos: G _s	2.649		g/cm³		
Média da densidade relativa dos grãos: G _{ds}	2.654		g/cm³		

Análise Granulométrica Conjunta

	Interessado: Fernando Saliba	Data: 05/06/06
	Projeto: Dissertação Mestrado	Ensaio: 01
	Local: PUC-Rio	
	Amostra: AM-01 - Estéril de Itabirito da PDE-05 (superficial)	

Umidade Higroscópica

Peso caps.+solo+água =	37.98	g
Peso cap.+solo =	37.95	g
Peso água =	0.03	g
Tara =	11.50	g
Peso solo =	26.45	g
Umidade =	0.11	%
Fator de correção =	1.00	

Resumo da Granulometria

Pedregulho Grosso=	0.0	%
Pedregulho Médio=	17.6	%
Pedregulho Fino=	3.0	%
Areia Grossa =	2.9	%
Areia Média =	13.7	%
Areia Fina =	48.4	%
Silte =	11.6	%
Argila =	2.8	%

Amostra Total Seca

Peso da amostra seca ao ar =	1500.00	g
Peso da amostra seca na estufa retida na # 40 =	366.65	g
Peso da amostra seca ao ar passando na # 40 =	1133.35	g
Peso da água =	1.28	g
Peso da amos. seca na estufa passando # 40 =	1132.07	g
Peso da amostra total seca na estufa =	1498.72	g

Peneiramento da Amostra Total

Peneira			Material retido				% da Am. total que passa
Abertura da malha	Peso (g)	Peso total (g)	Peso do solo (g)	% da Am. Total	% Acumul.		
#						mm	
1 ½	38.10			0	0	0	100.00
3/4	19.10			0	0	0	100.00
3/8	9.25	447.26	672.30	225	15	15	84.98
5/16	7.93	517.37	539.71	22	1	17	83.49
1/4	6.35	510.67	523.19	12.52	0.84	17.34	82.66
4	4.76	476.95	495.59	18.64	1.24	18.59	81.41
8	2.38	485.68	510.36	24.68	1.65	20.23	79.77
10	2.00	393.37	399.82	6.45	0.43	20.66	79.34
20	0.84	460.55	485.13	24.58	1.64	22.30	77.70
40	0.42	414.17	446.57	32.40	2.16	24.46	75.54

Peneiramento da Amostra Parcial

P. am. seca ao ar =		50.00	g	Peso da am. parcial corr. =		49.94	g
Peneira			Material retido				% da Am. total que passa
Abertura da malha	Peso (g)	Peso total (g)	Peso do solo (g)	% da Am. Parcial	% Acumul.		
#						mm	
60	0.250	383.96	387.27	3.31	6.63	6.63	70.53
100	0.149	374.12	384.43	10.31	20.64	27.27	54.94
200	0.074	342.06	360.16	18.10	36.24	63.51	27.56

Sedimentação

Nº do densímetro =		5323-03	Peso específico dos grãos=		4.112	g/cm³	
Correção inicial =		1.50	Correção devido ao menisco =		1.00		
Tempo (min)	Temperatura (°C)	Leit.do dens.	Leit. cor-rígida	% da Am. Parcial	% da Am. total	Altura de queda (cm)	Diâmetro (mm)
0.5	23.0	6.4	5.46	14.423	10.894	17.21	0.05631
1	23.0	4.1	3.15	8.325	6.289	17.70	0.04038
2	23.0	3.1	2.15	5.674	4.286	17.91	0.02872
4	23.0	2.8	1.85	4.879	3.685	16.95	0.01976
8	23.0	2.8	1.85	4.879	3.685	16.95	0.01397
15	23.0	2.8	1.85	4.879	3.685	16.95	0.01020

Análise Granulométrica Conjunta

	Interessado: Fernando Saliba	Data: 05/06/06
	Projeto: Dissertação Mestrado	Ensaio: 01
	Local: PUC-Rio	
	Amostra: AM-02 - Estéril de Itabirito da PDE-05 (superficial)	

Umidade Higroscópica

Peso caps.+solo+água =	43.89	g
Peso cap.+solo =	43.88	g
Peso água =	0.01	g
Tara =	10.08	g
Peso solo =	33.80	g
Umidade =	0.03	%
Fator de correção =	1.00	

Resumo da Granulometria

Pedregulho Grosso=	0.0	%
Pedregulho Médio=	7.5	%
Pedregulho Fino=	2.3	%
Areia Grossa =	2.6	%
Areia Média =	16.0	%
Areia Fina =	53.2	%
Silte =	15.2	%
Argila =	3.2	%

Amostra Total Seca

Peso da amostra seca ao ar =	1500.00	g
Peso da amostra seca na estufa retida na # 40 =	199.20	g
Peso da amostra seca ao ar passando na # 40 =	1300.80	g
Peso da água =	0.38	g
Peso da amos. seca na estufa passando # 40 =	1300.42	g
Peso da amostra total seca na estufa =	1499.62	g

Peneiramento da Amostra Total

Peneira			Material retido				% da Am. total que passa
Abertura da malha	Peso (g)	Peso total (g)	Peso do solo (g)	% da Am. Total	% Acumul.		
#						mm	
1 ½	38.10			0	0	0	100.00
3/4	19.10			0	0	0	100.00
3/8	9.25	447.26	535.19	88	6	6	94.14
5/16	7.93	517.37	532.79	15	1	7	93.11
1/4	6.35	510.67	517.16	6.49	0.43	7.32	92.68
4	4.76	476.95	487.11	10.16	0.68	8.00	92.00
8	2.38	485.68	506.03	20.35	1.36	9.36	90.64
10	2.00	393.37	398.92	5.55	0.37	9.73	90.27
20	0.84	460.55	481.99	21.44	1.43	11.16	88.84
40	0.42	414.17	446.03	31.86	2.12	13.28	86.72

Peneiramento da Amostra Parcial

P. am. seca ao ar =		50.00	g	Peso da am. parcial corr. =		49.99	g
Peneira			Material retido				% da Am. total que passa
Abertura da malha	Peso (g)	Peso total (g)	Peso do solo (g)	% da Am. Parcial	% Acumul.		
#						mm	
60	0.250	383.96	388.19	4.23	8.46	8.46	79.38
100	0.149	374.12	383.16	9.04	18.09	26.55	63.70
200	0.074	342.06	358.35	16.29	32.59	59.14	35.43

Sedimentação

Nº do densímetro =		5323-03		Peso específico dos grãos=		4.119		g/cm³
Correção inicial =		1.50		Correção devido ao menisco =		1.00		
Tempo (min)	Temperatura (°C)	Leit.do dens.	Leit. cor-rígida	% da Am. Parcial	% da Am. total	Altura de queda (cm)	Diâmetro (mm)	
0.5	23.0	6.9	5.96	15.727	13.638	17.10	0.05607	
1	23.0	4.6	3.65	9.638	8.357	17.59	0.04021	
2	23.0	3.6	2.65	6.990	6.062	17.80	0.02860	
4	23.0	3.1	2.15	5.667	4.914	16.89	0.01970	
8	23.0	3.1	2.15	5.667	4.914	16.89	0.01393	
15	23.0	3.1	2.15	5.667	4.914	16.89	0.01017	

Análise Granulométrica Conjunta

	Interessado: Fernando Saliba	Data: 06/06/06
	Projeto: Dissertação Mestrado	Ensaio: 01
	Local: PUC-Rio	
	Amostra: AM-03 - Solo residual quartzo-feldspato-xisto - fundação da PDE-05	

Umidade Higroscópica

Peso caps.+solo+água =	37.10	g
Peso cap.+solo =	36.96	g
Peso água =	0.14	g
Tara =	10.22	g
Peso solo =	26.74	g
Umidade =	0.52	%
Fator de correção =	0.99	

Resumo da Granulometria

Pedregulho Grosso=	0.0	%
Pedregulho Médio=	1.8	%
Pedregulho Fino=	3.9	%
Areia Grossa =	12.4	%
Areia Média =	36.6	%
Areia Fina =	25.5	%
Silte =	11.4	%
Argila =	8.6	%

Amostra Total Seca

Peso da amostra seca ao ar =	1500.00	g
Peso da amostra seca na estufa retida na # 40 =	335.24	g
Peso da amostra seca ao ar passando na # 40 =	1164.76	g
Peso da água =	6.07	g
Peso da amos. seca na estufa passando # 40 =	1158.69	g
Peso da amostra total seca na estufa =	1493.93	g

Peneiramento da Amostra Total

Peneira			Material retido				% da Am. total que passa
Abertura da malha	Peso (g)	Peso total (g)	Peso do solo (g)	% da Am. Total	% Acumul.		
#						mm	
1 1/2	38.10			0	0	0	100.00
3/4	19.10			0	0	0	100.00
3/8	9.25	447.26	457.63	10	1	1	99.31
5/16	7.93	517.37	527.10	10	1	1	98.65
1/4	6.35	510.67	515.00	4.33	0.29	1.64	98.36
4	4.76	476.95	484.90	7.95	0.53	2.17	97.83
8	2.38	485.68	517.00	31.32	2.10	4.26	95.74
10	2.00	393.37	413.62	20.25	1.36	5.62	94.38
20	0.84	460.55	556.05	95.50	6.39	12.01	87.99
40	0.42	414.17	569.96	155.79	10.43	22.44	77.56

Peneiramento da Amostra Parcial

P. am. seca ao ar =		50.00	g	Peso da am. parcial corr. =		49.74	g
Peneira			Material retido				% da Am. total que passa
Abertura da malha	Peso (g)	Peso total (g)	Peso do solo (g)	% da Am. Parcial	% Acumul.		
#						mm	
60	0.250	383.96	398.60	14.64	29.43	29.43	54.73
100	0.149	374.12	386.13	12.01	24.15	53.58	36.00
200	0.074	342.06	349.30	7.24	14.56	68.13	24.71

Sedimentação

Nº do densímetro =		5323-03	Peso específico dos grãos=		2.649	g/cm³	
Correção inicial =		1.50	Correção devido ao menisco =		1.00		
Tempo (min)	Temperatura (°C)	Leit.do dens.	Leit. cor-rígida	% da Am. Parcial	% da Am. total	Altura de queda (cm)	Diâmetro (mm)
0.5	23.0	9.8	8.87	28.589	22.174	16.48	0.07568
1	23.0	8.6	7.66	24.709	19.164	16.74	0.05393
2	23.0	7.6	6.66	21.475	16.656	16.95	0.03837
4	23.0	6.8	5.86	18.888	14.649	16.10	0.02645
8	23.0	6.6	5.66	18.241	14.148	16.14	0.01873
15	23.0	6.4	5.46	17.594	13.646	16.19	0.01369

Cálculo do índice de Vazios Natural

	Fernando Portugal Maia Saliba	Data: 27/09/06
	Dissertação de Mestrado	Ensaio: AM-04 a AM-07 - in situ
	PUC-Rio Ensaio: Pilha de Estéril de Itabirito	Condição: Não saturado

Dados do Corpo de Prova

Primeiro Ponto

Cilindro n ^o :	saco pl.
P. solo+cilindro (g):	1.608.50
Peso do cilindro (g):	57.60
Peso do solo (g):	1.550.90

Segundo Ponto

Cilindro n ^o :	saco pl.
P. solo+cilindro (g):	1.595.50
Peso do cilindro (g):	57.60
Peso do solo (g):	1.537.90

Terceiro Ponto

Cilindro n ^o :	saco pl.
P. solo+cilindro (g):	1.567.90
Peso do cilindro (g):	57.60
Peso do solo (g):	1.510.30

Quarto Ponto

Cilindro n ^o :	saco pl.
P. solo+cilindro (g):	1.671.80
Peso do cilindro (g):	57.60
Peso do solo (g):	1.614.20

Quinto Ponto

Cilindro n ^o :	
P. solo+cilindro (g):	
Peso do cilindro (g):	
Peso do solo (g):	

Sexto Ponto

Cilindro n ^o :	
P. solo+cilindro (g):	
Peso do cilindro (g):	
Peso do solo (g):	

Sétimo Ponto

Cilindro n ^o :	
P. solo+cilindro (g):	
Peso do cilindro (g):	
Peso do solo (g):	

Oitavo Ponto

Cilindro n ^o :	
P. solo+cilindro (g):	
Peso do cilindro (g):	
Peso do solo (g):	

Nono Ponto

Cilindro n ^o :	
P. solo+cilindro (g):	
Peso do cilindro (g):	
Peso do solo (g):	

Cálculo Índice de Vazios de Campo

Altura do cilindro (cm):	6.50
Volume (cm ³):	510.51
Tara (g):	57.60
Massa material (g):	1.553.33
\bar{E}_d (g/cm ³):	3.04
G_s (g/cm ³):	4.12
e_{nat} :	0.35
\bar{E}_σ	0.26

Observações:

Cálculo do índice de Vazios Máx. e Min.

	Fernando Portugal Maia Saliba	Data: 15/09/06
	Dissertação de Mestrado	Ensaio: AM-02
	PUC-Rio Ensaio: Pilha de Estéril de Itabirito	Condição: Não saturado

Dados do Corpo de Prova

Primeiro Ponto

Cilindro n ^o :	01
P. solo+cilindro (g):	6,144.30
Peso do cilindro (g):	4,555.80
Peso do solo (g):	1,588.50

Segundo Ponto

Cilindro n ^o :	01
P. solo+cilindro (g):	6,148.60
Peso do cilindro (g):	4,555.80
Peso do solo (g):	1,592.80

Terceiro Ponto

Cilindro n ^o :	01
P. solo+cilindro (g):	6,171.70
Peso do cilindro (g):	4,555.80
Peso do solo (g):	1,615.90

Quarto Ponto

Cilindro n ^o :	01
P. solo+cilindro (g):	6,220.00
Peso do cilindro (g):	4,555.80
Peso do solo (g):	1,664.20

Quinto Ponto

Cilindro n ^o :	01
P. solo+cilindro (g):	6,189.00
Peso do cilindro (g):	4,555.80
Peso do solo (g):	1,633.20

Sexto Ponto

Cilindro n ^o :	02
P. solo+cilindro (g):	7,010.00
Peso do cilindro (g):	4,827.90
Peso do solo (g):	2,182.10

Sétimo Ponto

Cilindro n ^o :	02
P. solo+cilindro (g):	7,054.00
Peso do cilindro (g):	4,827.90
Peso do solo (g):	2,226.10

Oitavo Ponto

Cilindro n ^o :	02
P. solo+cilindro (g):	7,054.00
Peso do cilindro (g):	4,827.90
Peso do solo (g):	2,226.10

Nono Ponto

Cilindro n ^o :	
P. solo+cilindro (g):	
Peso do cilindro (g):	
Peso do solo (g):	

Cálculo Índice de Vazios Máximo

Altura do cilindro (cm):	12.81
Volume (cm ³):	1,006.10
Tara (g):	4,555.80
Massa material (g):	1,618.92
$\pi_d \pi(\text{cm}^3)$:	1.61
$G_s (\text{cm}^3)$:	4.12
e max:	1.56
$\pi \square$	0.61

Cálculo Índice de Vazios Mínimo

Altura do cilindro (cm):	12.75
Volume (cm ³):	961.73
Tara (g):	4,827.90
Massa material (g):	2,211.43
$\pi_d \pi(\text{cm}^3)$:	2.30
$G_s (\text{cm}^3)$:	4.12
e min:	0.79
$\pi \square$	0.44

Grau de Compacidade

Fofa (ou solta):	$0 < GC < 1/3$
Medianamente compactas:	$1/3 < GC < 2/3$
Compactas:	$2/3 < GC < 1$

GC =	0.99
-------------	-------------

Observações:

Durante o ensaio para o cálculo do índice de vazios mínimo, deixou o material vibrar durante 5 minutos. O CP n^o 01 referem-se ao cálculo do índice de vazios máximo e o n^o 02 para o índice de vazios mínimo.

Cálculo do Índice de Vazios Máx. Saturado

	Fernando Portugal Maia Saliba	Data: 18/09/06
	Dissertação de Mestrado	Ensaio: AM-02
	PUC-Rio	Condição: Saturado
	Ensaio: Pilha de Estéril de Itabirito	

Dados do Corpo de Prova

Primeiro Ponto

Cilindro n ^o :	01
P. solo+cilindro (g):	7,634.00
Peso do cilindro (g):	4,555.80
Peso do solo (g):	3,078.20

Segundo Ponto

Cilindro n ^o :	01
P. solo+cilindro (g):	7,636.00
Peso do cilindro (g):	4,555.80
Peso do solo (g):	3,080.20

Terceiro Ponto

Cilindro n ^o :	01
P. solo+cilindro (g):	7,635.00
Peso do cilindro (g):	4,555.80
Peso do solo (g):	3,079.20

Quarto Ponto

Cilindro n ^o :	01
P. solo+cilindro (g):	7,637.00
Peso do cilindro (g):	4,555.80
Peso do solo (g):	3,081.20

Quinto Ponto

Cilindro n ^o :	01
P. solo+cilindro (g):	7,636.00
Peso do cilindro (g):	4,555.80
Peso do solo (g):	3,080.20

Sexto Ponto

Cilindro n ^o :	
P. solo+cilindro (g):	
Peso do cilindro (g):	
Peso do solo (g):	

Sétimo Ponto

Cilindro n ^o :	
P. solo+cilindro (g):	
Peso do cilindro (g):	
Peso do solo (g):	

Oitavo Ponto

Cilindro n ^o :	
P. solo+cilindro (g):	
Peso do cilindro (g):	
Peso do solo (g):	

Nono Ponto

Cilindro n ^o :	
P. solo+cilindro (g):	
Peso do cilindro (g):	
Peso do solo (g):	

Cálculo Índice de Vazios Máximo Saturado

Altura do cilindro (cm):	12.81
Volume (cm ³):	1,006.10
Tara (g):	4,555.80
Massa material (g):	3,079.80
ρ_d (cm ³):	3.06
G_s (cm ³):	4.12
e_{max}:	0.34
θ_{\neq}	0.26

Observações:

Durante o ensaio para o cálculo do índice de vazios mínimo, deixou o material vibrar durante 5 minutos. O CP n^o 01 referem-se ao cálculo do índice de vazios máximo saturado.

C.5. Resultados da Difratoimetria de Raios-X

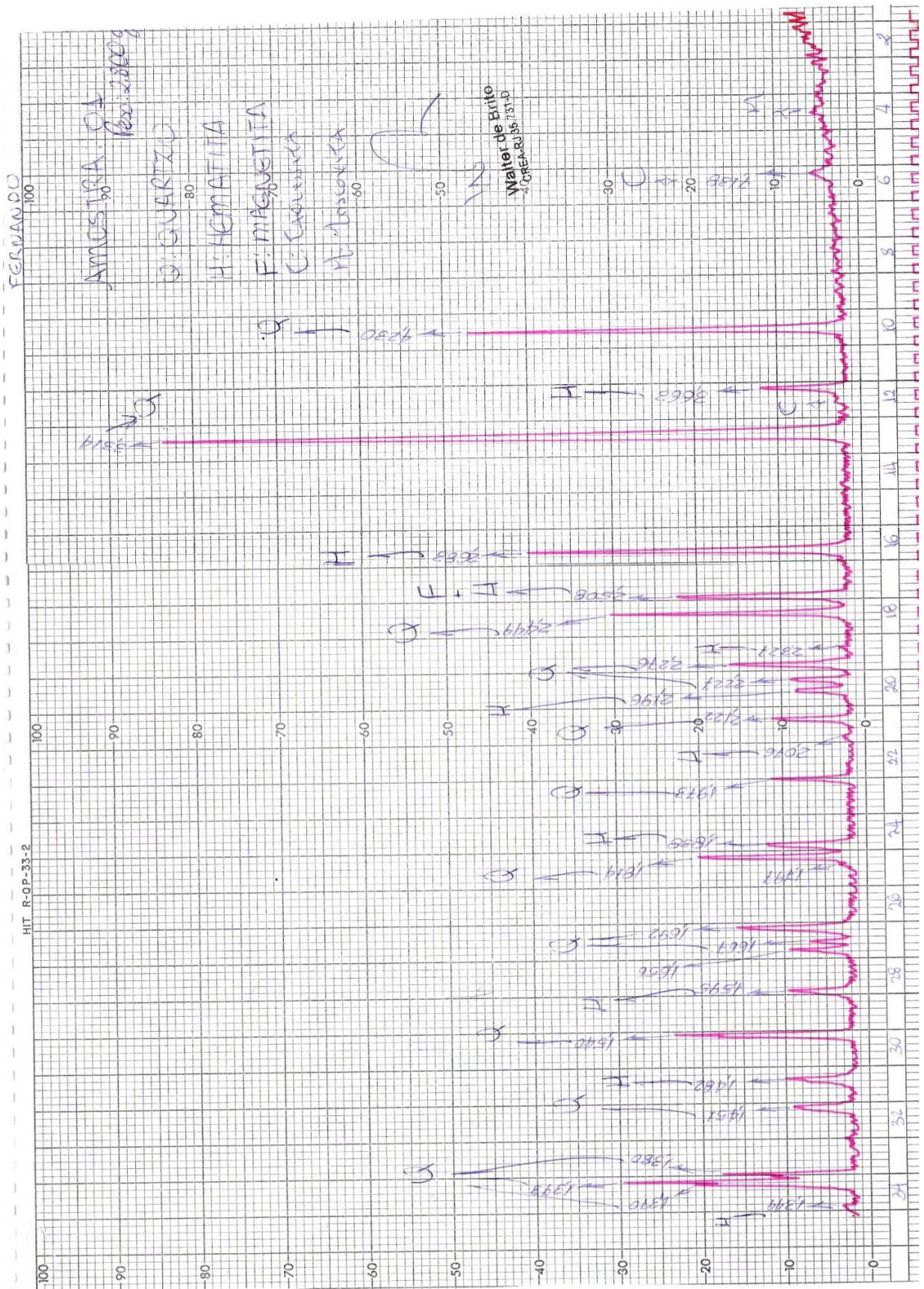


Figura C.5.1 - Amostra AM-02 (lâmina 01).

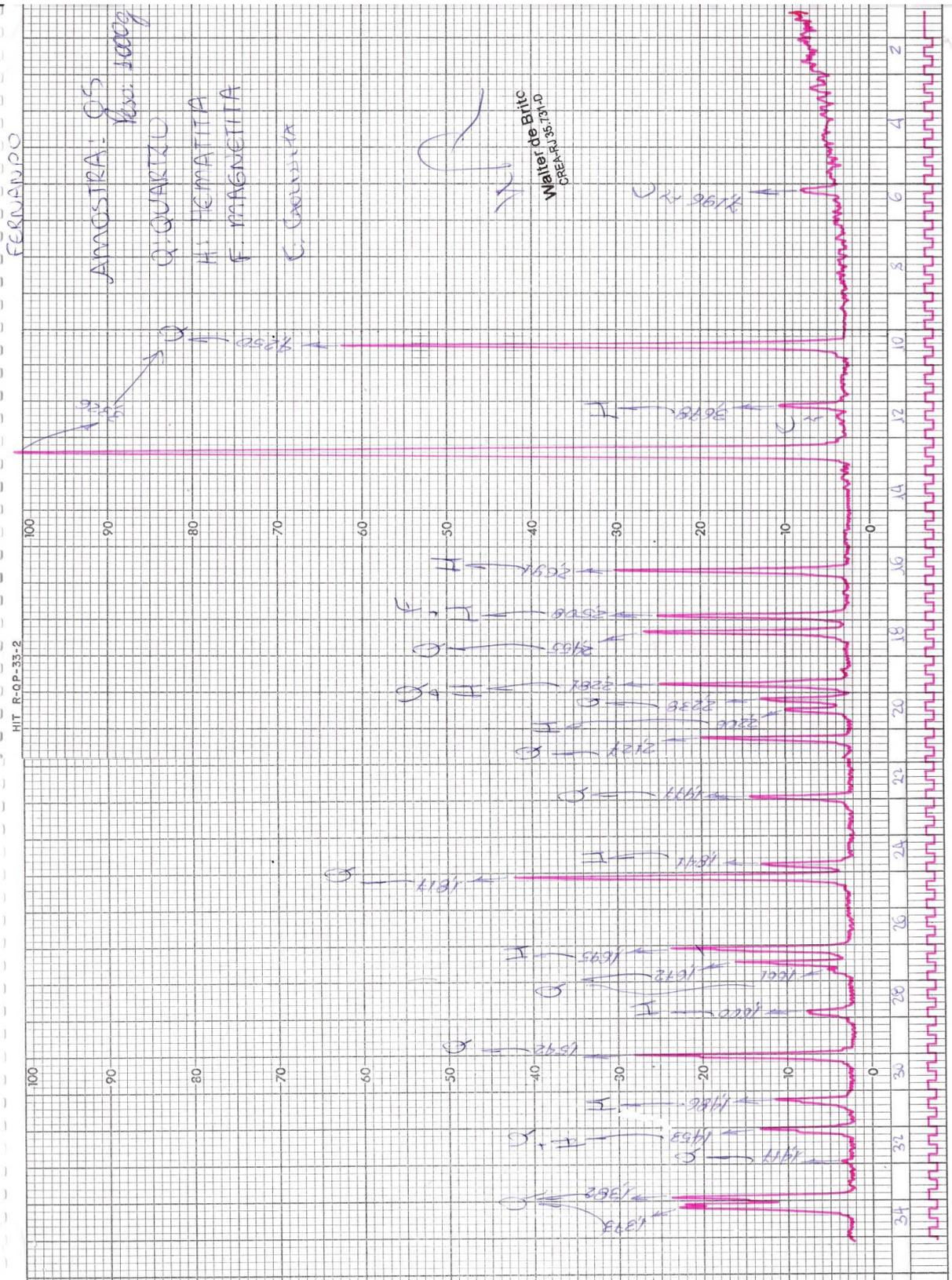


Figura C.5.2 - Amostra AM-02 (lâmina 02).

(S) GIBBSIT $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$
 (P) MANGUEIRA $KAl_3(SO_4)_3$
 (K) Sulfato SO_4
 (V) GOETHITA $Al_2Si_2O_5(OH)$
 (F) GOETHITA $Fe(OH)$



D:\11 - Difratogramas (2005)\3 - Outros Dept\Civil\Franklin\F - File: SOLO-A-200.RAW - Type: 2Theta blocked - Start: 5.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time

Figura C.5.3 - Amostra AM-03 (lamina 01).

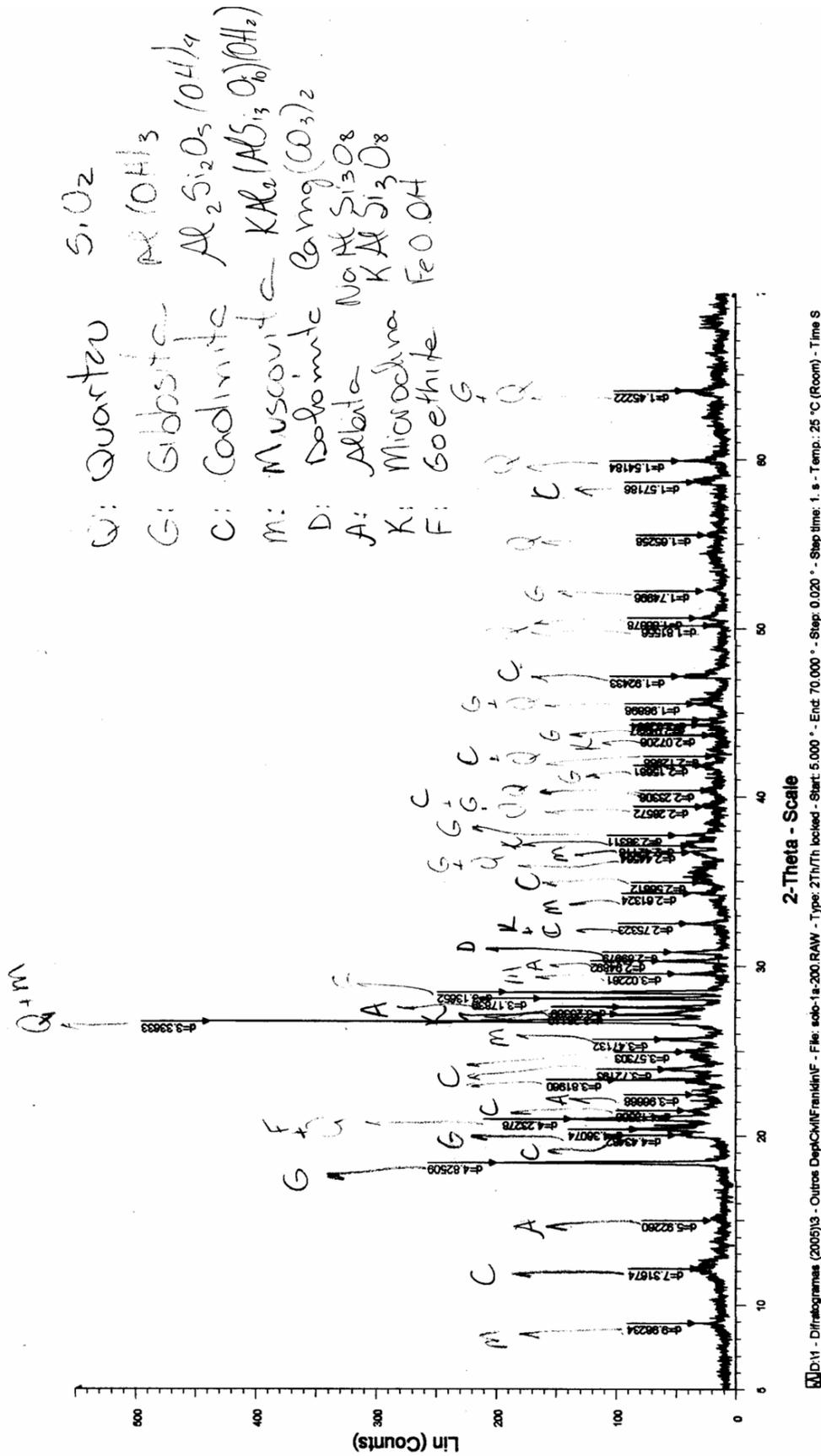


Figura C.5.4 - Amostra AM-03 (lamina 02).

Anexo A – Dados de Precipitação Diária das Estações Mina do Andrade e Usina Peti

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MINA DO ANDRADE - 1979

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	48,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,03	0,00
2	0,00	30,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,09	0,00
3	2,79	11,04	21,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,52	0,00
4	3,17	0,00	0,00	5,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	46,21	45,96	14,35	1,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,58	5,46
6	0,00	93,44	4,06	4,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	49,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	43,16	23,49	8,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	19,93	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	40,75	0,00
10	0,00	0,00	3,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,62	14,60
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	9,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,80
13	0,00	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,22	0,00
14	0,00	52,05	37,70	0,00	0,00	0,00	0,00	4,06	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	19,04	15,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,23	0,51	0,00	0,00
16	0,63	22,47	4,32	4,19	0,00	0,00	0,00	1,78	6,98	21,07	0,00	0,00
17	0,76	73,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,89	0,00	0,00	0,00
18	15,74	25,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,74	0,00	0,00	1,14
19	42,78	3,17	5,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84,80
20	0,00	17,01	66,52	0,00	0,00	0,00	1,40	12,70	0,00	4,19	3,55	51,41
21	0,00	33,51	2,03	0,00	0,00	0,00	0,00	10,49	0,00	0,00	133,04	14,22
22	63,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,41	2,29
23	3,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32
24	15,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	15,61	0,00
25	27,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	86,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,70	89,50
27	33,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,46	0,00	0,00	13,20	3,81
28	0,00	33,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	23,10
29	60,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,54
30	17,27	0,00	0,00	0,00	109,18	0,00	0,00	0,00	0,00	2,54	0,00	6,93
31	12,95	0,00	6,45	0,00	6,86	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	7,44
Total	484,57	607,07	191,26	15,16	116,03	5,62	1,40	35,11	55,22	38,97	494,34	331,36
Acumulado no ano				2.376,13								

LEGENDA:

valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1980

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,33	16,25
2	4,93	17,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	88,23
3	0,38	0,00	0,00	1,90	4,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,15
4	0,00	87,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,12
5	0,00	0,00	0,00	0,00	18,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,42
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,20
7	0,00	0,00	0,00	9,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	15,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,09
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,68	13,08
11	40,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,29	2,67	10,28
12	15,61	0,00	0,00	20,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,02	11,81
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,37	36,82	59,41
14	62,46	24,63	22,60	34,28	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,81	33,77
15	1,78	0,00	23,61	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,77
16	6,22	4,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	25,64	0,00	6,35	6,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,51	15,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	10,41	3,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,29	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,68	0,00	18,92	0,00
21	3,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	2,79	2,54	0,00	2,03	0,00	0,00	0,00	0,00	13,20	0,00	0,00	0,00
23	0,00	9,52	0,00	0,00	0,00	5,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	51,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,86
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,77	0,00
26	32,12	2,79	0,00	0,00	0,00	2,54	0,00	0,00	4,82	0,00	11,04	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	65,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	14,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89
30	18,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,30
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,12
Total	357,08	167,57	52,56	91,35	24,35	16,00	8,78	14,44	31,99	42,66	191,57	446,74
Acumulado no ano				1.445,09								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1981

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)	
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,57	0,00	3,35	
2	9,14	11,43	0,00	21,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	21,71	0,00	
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	0,00	0,00	5,71	0,00	
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5	0,00	0,00	1,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	5,46	9,39	0,00	
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
7	0,00	0,00	11,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,29	0,00	0,00	
8	0,00	0,00	38,09	0,00	0,00	11,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9	0,00	0,00	1,90	0,00	2,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	83,03	
10	9,39	44,56	9,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02	0,00	41,31	
11	0,00	3,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	80,61	0,00	
12	16,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,20	0,00	
13	18,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,67	4,06	0,00	
14	13,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,14	80,23	43,59	
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,42	0,00	5,59	
17	7,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,63	0,00	0,00	
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,14	0,00	0,00	8,00	6,91	
19	0,00	0,00	21,07	0,00	1,90	0,00	0,00	0,51	0,00	0,76	0,00	5,71	
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,74	0,00	0,00	
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	6,09	20,95	2,23	
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
23	31,48	0,00	27,29	0,00	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,00	0,00	
24	1,02	2,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,89	0,00	
25	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,49	
26	22,85	0,00	5,71	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,36	20,49	
27	7,36	0,00	15,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,35	17,27	20,49	
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	20,44	0,00	20,49	
29	0,00	0,00	0,00	0,00	34,78	0,00	0,00	0,00	0,00	4,70	0,00	14,90	
30	0,00	0,00	29,83	17,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,81	17,01	0,00	
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78	0,00	10,16	
Total	137,36	61,70	161,73	38,72	48,11	11,93	5,62	11,17	16,50	178,36	358,38	298,74	
Acumulado no ano				1.328,34									

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1982

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)	
1	12,57	0,00	39,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	12,57	0,00	4,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3	12,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,68	
4	12,57	0,00	1,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5	42,48	0,00	2,72	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
6	7,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,16	
7	9,52	0,00	0,00	26,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
8	0,00	0,00	34,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9	0,00	0,00	60,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,36	
10	0,00	0,00	3,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
12	28,74	0,00	21,89	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	
13	16,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,28	0,00	0,00	
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
15	0,00	0,00	50,15	13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
16	0,00	0,00	0,00	20,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
17	0,00	0,00	21,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,98	0,00	51,08	39,35	
18	0,00	0,00	22,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
19	0,00	0,00	38,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
20	19,04	0,00	0,00	6,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,69	
22	26,99	0,00	46,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
23	8,89	0,00	16,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,58	
24	0,00	0,00	1,27	0,00	19,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
25	83,79	0,00	63,17	0,00	2,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
26	0,00	2,21	0,00	0,00	14,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,79	0,00	36,18	
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,48	0,00	0,00	54,59	
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,19	0,00	21,58	
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,22	
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,51	
Total	293,28	2,21	429,90	67,92	36,18	8,78	7,37	1,90	10,46	38,26	51,08	342,89	
Acumulado no ano				1.290,24									

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

**CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1983**

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	45,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,33
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,06	0,00
4	0,00	0,00	4,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,15	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55,98
6	19,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	6,35	0,00	53,32	59,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,87	17,98
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	53,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,01
10	0,00	44,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	34,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	22,22	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	113,70
13	2,23	0,00	0,00	22,85	0,00	0,00	0,00	0,00	13,33	24,12	0,00	16,81
14	25,71	0,00	6,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35	18,53	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,86	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,77	0,00
17	46,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,16	0,00
18	0,00	6,78	8,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	18,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,97	5,84	0,00	0,00
20	7,29	0,00	45,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,80	0,00	0,00
21	73,63	0,00	25,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,45	0,00
22	16,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	33,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	47,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	71,35	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	18,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,98	11,81	0,00
26	38,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,76
27	0,00	0,00	0,00	0,00	34,91	0,00	0,00	0,00	48,24	0,00	0,00	0,00
28	0,00	54,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	0,00	43,80	0,00
29	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,22	0,00	0,00	19,93
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,70	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	48,24	0,00	0,00	0,00	0,00	28,44	0,00	0,00
Total	359,92	160,13	239,05	100,93	83,15	28,34	30,67	5,62	97,07	199,06	254,92	295,49
Acumulado no ano				1.854,33								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1984

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,23
4	13,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,66
5	0,00	0,00	0,00	9,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,60
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,06
7	0,00	0,00	31,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,82
8	0,00	0,00	38,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	29,20	0,00	0,00	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,23	0,00	0,00	36,18
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,11
12	0,00	0,00	7,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,69	13,56
13	0,00	0,00	26,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,23
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,20	66,01
15	0,00	0,00	36,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,54	2,54	64,74
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,98	0,00	9,65	21,73
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,58	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,11	0,00	64,74	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,51	106,31	0,00
23	43,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00	8,25	0,00
24	6,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,62	0,00	0,00
26	27,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	4,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,10	9,72	0,00	17,77	0,00
28	0,00	0,00	31,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	10,16	27,17
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,45	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,54	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,03	0,00	0,00	0,00	64,74
Total	124,92	12,11	171,64	14,47	5,62	5,62	11,03	48,82	39,05	40,24	263,85	407,86
Acumulado no ano				1.145,24								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1985

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,73
2	0,00	0,00	0,00	0,00	16,81	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00
3	20,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,90	0,00	3,17
4	6,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,88	5,71
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,53	21,96
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,07	0,00	2,16	4,19
7	25,39	6,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,12	0,00
8	31,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,93	0,00	0,00
9	51,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00
10	47,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	4,06	30,14	1,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	10,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	61,57	0,00	10,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	12,70	0,00	35,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	3,30	0,00	18,08	0,00	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,69
16	12,70	0,00	7,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	27,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,70
18	13,96	0,00	60,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,37	0,00	23,49
19	0,00	0,00	62,46	67,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	17,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,01
21	18,71	0,00	4,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	3,63	0,00	4,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,81	2,54	0,00
23	0,00	45,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,20	0,00	4,70
24	10,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,12	44,05	0,00	24,76
25	14,22	35,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,03	18,46	21,58	0,00
26	54,46	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,71	24,63
27	0,00	23,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,49	7,74
28	76,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,62	0,00	47,61
29	7,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,25	0,00
30	37,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,21	7,62	0,00	47,61
31	10,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,71	0,00	6,22
Total	490,36	144,52	283,38	67,54	29,50	5,87	5,78	13,86	33,69	188,57	200,25	294,90
Acumulado no ano				1.758,23								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1986

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,22
2	85,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,62
3	7,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,16
4	0,00	15,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	74,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	22,60	5,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,95
7	7,74	9,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,95
8	50,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,00
9	58,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	4,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20	21,02
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,54	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,09	19,68
13	0,63	0,00	12,70	0,00	23,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,89	37,25
14	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,38	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,89	46,34
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	8,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	12,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	2,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	2,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,73	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	5,08	0,00	0,00	19,42	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	8,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,78
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,47	0,00	0,00	0,00	0,00	18,41
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,23	0,00	0,00	0,00	8,25
27	0,00	0,00	44,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,79	0,00
28	17,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,02	0,00
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,57	0,00	21,58	5,33
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,55
Total	262,43	131,82	57,13	8,84	28,56	11,60	44,94	41,39	4,57	16,69	118,75	387,50
Acumulado no ano				1.114,22								

LEGENDA:

16,69 Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1987

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	39,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	4,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	2,92	64,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	19,04	0,00	0,00	3,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	5,46	0,00	0,00	8,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	9,14	14,60	0,00	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	11,04	1,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	35,55	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	29,20	0,00	0,00
13	0,00	0,00	13,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,12	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,39	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,16	0,00	0,00
16	0,00	0,00	8,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	2,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	21,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,70	0,00	0,00
20	27,29	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00	0,00	0,00	7,62	0,00	0,00
21	17,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,76	0,00	0,00
22	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,18	0,00	0,00
23	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,41	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	31,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	15,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	5,59	0,00	0,00	26,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	10,66	0,00	0,00	0,00	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00	70,15	0,00	0,00
Total	103,74	20,19	108,29	130,12	53,62	11,43	2,54	6,95	51,56	265,68	102,32	329,76
Acumulado no ano				1.186,20								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1988

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	1,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	52,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	37,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	24,45	33,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	2,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	11,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	17,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	70,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	6,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	22,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	22,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	43,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	10,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	9,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31	29,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	174,68	235,37	72,44	107,40	60,71	6,78	5,70	7,62	10,78	57,96	117,63	273,00
Acumulado no ano				1.130,08								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1989

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00
3	9,01	21,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	7,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,43	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,43	0,00	0,00
6	0,00	18,28	19,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35	0,00
7	0,00	19,80	15,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	20,95	22,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	24,76	22,29	8,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	2,03	0,00	2,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,27	14,60	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,89
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,99	0,00	0,00	0,00	11,30	0,00	35,09
13	0,00	0,00	19,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,67	23,56
14	0,00	21,84	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,58	35,85
15	0,00	10,61	36,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,55
16	6,02	0,00	37,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,17	0,70	38,09
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,82	0,00	26,02
18	11,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,36	0,00	0,00
19	9,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	18,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,90	31,74
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,16	0,00	4,19	43,04
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	3,68	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,57	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,14
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,30	37,45
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,12	35,88	0,00	17,87	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,16	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	70,97	135,56	167,60	18,03	12,11	95,34	37,41	8,12	46,03	126,82	308,43	342,41
Acumulado no ano				1.368,82								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1990

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,52	0,00	0,00	0,00	2,72	0,00
3	18,53	0,00	0,00	0,00	40,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,92	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,47	8,07
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,07	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,73	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,96	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	21,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	4,52	0,00	0,00	27,42	0,00	18,03	0,00	0,00	0,00	7,62	4,06
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63
15	0,00	17,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,43	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,22
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,66	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,68
20	0,00	7,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,27	0,00	0,00	10,22	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,83	0,00	0,00
23	0,00	32,68	0,00	16,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,85	8,89	27,85
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,87	0,00	10,87
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,34	2,54
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,39	0,00	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	18,53	62,28	50,89	37,70	67,66	11,94	34,33	55,40	45,58	89,37	93,45	75,93
Acumulado no ano				643,07								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1991

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)	
1	0,00	0,00	0,00	24,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,60	19,04	0,00	
2	0,00	0,00	0,00	4,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,36	34,61	0,00	
3	31,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,44	34,58	0,00	
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,96	0,00	
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,82	0,00	0,00	
7	52,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,68	0,00	0,00	
10	0,00	29,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
12	0,00	10,22	39,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
13	0,00	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
14	70,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,32	0,00	
15	14,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,60	0,00	0,00	37,32	0,00	
16	45,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,52	0,00	37,32	0,00	
17	2,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,94	0,00	0,00	
18	38,09	96,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,75	0,00	31,23	
19	24,12	30,47	8,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
20	0,00	0,06	15,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	63,04	0,00	0,00	0,00	
21	0,00	0,00	0,00	0,00	46,97	0,00	0,00	0,00	6,73	0,00	11,43	0,00	
22	0,00	0,00	125,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
23	0,00	0,00	4,95	0,00	0,00	0,00	0,00	1,47	0,00	0,00	0,00	0,00	
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,69	0,00	
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,85	0,00	0,00	0,00	
27	49,76	21,89	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,60	0,00	0,00	0,00	
28	10,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,08	0,00	
29	3,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
30	18,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,57	0,00	0,00	0,00	
31	4,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total	381,55	189,02	199,69	28,18	46,97	5,87	6,20	8,07	121,31	74,60	246,36	31,23	
Acumulado no ano				1.339,05									

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1992

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	43,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	47,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	22,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,52	59,16
5	0,00	10,79	0,00	0,00	21,84	0,00	0,00	0,00	0,00	21,58	31,74	0,00
6	59,46	19,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,65	0,00
7	29,53	2,29	0,00	0,00	4,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	10,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,16	61,32	0,00
10	16,00	19,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,97	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,46	65,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	94,81
13	47,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,89	0,00	94,81
14	24,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,04	0,00	0,63
15	36,31	0,00	0,00	14,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	7,41	0,00	0,00	11,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	14,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,55	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,14	0,00	0,00	28,49
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,93
20	103,21	5,38	0,00	0,00	29,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,93
21	31,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,96	0,00	70,33
22	4,44	0,00	0,00	14,22	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35	14,60	0,00	0,00
23	28,74	0,00	0,00	22,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	54,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	8,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,88	0,00	0,00	199,51
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,00
30	6,65	0,00	0,00	4,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,87	0,00	0,00
31	5,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,40	0,00	0,00
Total	532,53	127,97	19,93	66,52	55,48	11,03	8,20	12,28	46,92	181,54	213,66	663,59
Acumulado no ano	1.939,64											

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1993

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	1,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	2,23	0,00	0,00	0,00	5,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	21,84	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	20,16	0,00	0,00
7	18,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	71,40	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,77
11	17,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,71
12	0,00	0,00	0,00	14,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,71
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	3,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	36,82	3,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	4,44	3,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,09
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,37	7,95
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,05	7,95
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,24
21	13,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	0,00	0,00	0,00	14,02
22	4,49	0,00	31,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	1,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,28
25	19,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,49	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,66	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,94	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,01
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,54
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,53
Total	99,02	42,40	41,63	14,35	6,27	10,08	5,95	4,32	13,94	48,65	125,48	222,80
Acumulado no ano	634,87											

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1994

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	27,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	38,85	33,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,49	0,00
3	9,45	0,00	0,00	0,00	9,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	17,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4,42	0,00	54,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	26,46	0,00	54,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,66
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,85
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,15	0,00	0,00
10	23,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	12,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	17,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	31,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	23,36	0,00	0,00	26,66	29,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,26	103,34
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,54	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	37,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,54	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,08	0,00	4,93	23,36
20	2,18	0,00	0,00	4,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	2,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	14,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	37,68	0,00	30,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	108,67
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,03	0,00	0,00	0,00	7,67	0,00	0,00
28	0,00	2,95	44,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,52	1,78	0,00
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,94	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	187,25	2,95	286,83	64,11	76,40	18,03	7,78	5,62	13,08	99,27	215,54	274,87
Acumulado no ano				1.251,72								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1995

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	7,62	0,00	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,23	0,00
2	0,00	29,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,98	10,16
3	0,00	41,69	3,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,09	4,82
4	0,00	0,00	0,00	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,50
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,33	0,00
6	0,00	0,00	13,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	31,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	69,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,74	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	46,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,04	35,55
14	0,00	38,34	85,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,40
15	0,00	41,51	55,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55,10
16	0,00	21,07	11,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,74	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,23	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,04	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,17	0,00	0,00
20	0,00	17,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,79
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,14	0,00	0,00	8,18
22	0,00	0,00	0,00	0,00	3,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,22	0,00	0,00
24	51,54	0,00	0,00	23,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,90	0,00
25	0,00	0,00	6,35	5,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,82	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	114,26
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	53,95
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,49
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,68
31	19,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	70,58	344,97	192,33	48,49	10,16	11,78	7,78	5,62	9,14	98,13	283,40	427,87
Acumulado no ano				1.510,26								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1996

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,94	0,00
2	26,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,89	0,00	0,00	0,00
3	57,13	33,07	0,00	0,00	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	91,15	51,03
5	0,00	13,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,23	0,00	41,89	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	7,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,82	0,00	0,00
9	18,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,39
10	82,52	0,00	19,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	23,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,15
12	34,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	52,11	0,00	0,00	0,00	10,66	0,00	0,00	0,00	19,04
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,14	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,65	8,89	0,00	27,17
17	0,00	0,00	0,00	18,41	2,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,66
18	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	0,00	0,00	0,00	3,30	0,00	57,13	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,23	0,00	38,09	2,79
20	7,55	23,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,84	0,00
21	0,00	0,00	10,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107,91	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78	9,57	0,00
23	0,00	0,00	89,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,57	41,89
24	0,00	0,00	82,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,57	0,00
25	0,00	4,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,79	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,14	0,00	0,00	8,12
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,12
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,12
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,17
Total	235,16	74,72	226,35	70,52	12,44	5,62	5,62	19,80	64,24	15,49	431,66	239,68
Acumulado no ano				1.401,30								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1997

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	25,39	0,00	0,00	17,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,06	0,00	4,44
2	45,19	0,00	40,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25	0,00	8,25
3	62,28	0,00	40,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	62,28	0,00	40,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	62,28	0,00	7,11	0,00	0,00	2,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	4,32	0,00	0,00	0,00	0,00	14,98	0,00	0,00	11,68	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	10,16	0,00	0,00	0,00	23,36
9	0,00	0,00	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,36
10	0,00	0,00	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,23	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	9,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	55,63	0,00	3,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78	7,62
15	0,00	0,00	3,17	0,00	0,00	6,86	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78	4,57
16	0,00	0,00	3,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78	22,09
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,81	0,00	0,00	44,43
18	0,00	0,00	2,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,79
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,17	0,00	8,25	0,00
20	0,00	0,00	1,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,17	24,88	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	73,81	0,00	0,00	7,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,61	0,00	1,27
23	0,00	0,00	0,00	5,59	4,32	0,00	0,00	0,00	0,00	13,63	24,88	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,80	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	19,04	0,00	0,00	0,00	5,33	0,00	24,88	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,99	0,00	2,79
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,04	0,00
29	0,00	0,00	39,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,04	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,12	0,00	24,04	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	391,18	109,98	195,76	30,21	23,36	28,44	11,94	10,16	77,29	122,43	210,51	144,98
Acumulado no ano				1.356,23								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1998

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	1,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,05	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	2,79
4	5,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,88
5	14,47	0,00	0,00	0,00	30,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	29,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,69	0,00	0,00	0,00	0,00
7	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	25,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,82	0,00	21,84
9	0,00	0,00	0,00	7,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,74	10,16	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,88	0,00
11	50,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,04	0,00
12	0,00	39,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,68	0,00	0,00
14	0,00	0,00	33,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,03	0,00	0,00
15	0,00	0,00	33,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78	28,69
16	0,00	0,00	33,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,59	0,00	45,19
17	0,00	44,43	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,59	0,00	4,06
18	0,00	53,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,59	0,00	0,00
19	41,89	46,97	0,00	18,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	25,39	38,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	5,66	0,00
21	0,00	0,00	38,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,66	1,27
22	0,00	0,00	38,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,66	0,00
23	0,00	13,96	38,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27
26	91,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	43,92	0,00	0,00	0,00	0,00	2,79	9,52	1,52
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,03	9,52	9,47
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	7,11	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	0,00	26,15
Total	289,95	236,13	215,84	26,91	74,65	5,87	5,62	28,69	6,78	106,13	168,06	183,14
Acumulado no ano				1.347,77								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 1999

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,20	4,57
2	0,00	0,00	9,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	60,94	0,00	2,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	23,36	0,00	0,00	12,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,23
5	70,58	0,00	36,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,63	0,00	36,56	0,00	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	57,76	0,00
7	0,00	0,00	36,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,76	0,00
8	0,00	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,49	0,00
9	0,00	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,81	0,00
11	0,00	0,00	33,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00
12	0,00	25,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,51
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,33	0,00
14	1,37	0,00	50,78	0,00	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,33	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,33	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	21,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,61	0,00	4,82
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,30	0,00	0,00
22	7,87	0,00	0,00	8,12	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	0,00	45,70	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	11,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,29	44,43
25	0,00	27,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	12,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,74	0,00
27	0,00	12,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,74	0,00
28	3,07	12,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,74	6,35
29	8,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,06
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	175,95	91,91	218,86	42,15	0,84	1,02	7,53	5,62	4,32	65,25	307,98	144,98
Acumulado no ano				1.066,40								

LEGENDA:

 Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 2000

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	14,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35	19,07	0,00	0,00
2	0,00	6,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35	0,00	0,00	0,00
3	48,75	5,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35	0,00	15,41	0,00
4	0,00	9,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,41	46,21
5	6,35	9,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,41	15,49
6	0,00	9,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,62	6,60
7	0,00	33,51	9,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,31	0,00	0,00	0,00
8	0,00	5,84	9,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,31	0,00	0,00	0,00
9	0,00	1,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,31	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	4,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,31	0,00	0,00	34,28
11	0,00	0,00	4,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	4,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,52	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,02	0,00
15	0,00	0,00	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,02	0,00
16	0,00	0,00	0,00	12,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,29	0,00
17	33,01	1,78	9,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,13
18	0,00	0,00	9,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,28	36,13
19	0,00	0,00	9,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,28	0,00
20	9,65	2,54	0,00	11,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,28	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,56
24	62,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	5,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,87	0,00
26	39,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,58	0,00
27	21,33	0,00	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00	0,00	14,57	0,00	37,58	18,53
28	71,60	0,00	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00	22,14	0,00	0,00	25,39	4,49
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96	31,99	21,20
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,22	21,20
31	27,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,20
Total	326,26	100,06	75,92	24,53	1,83	5,62	11,94	22,14	42,86	21,02	430,18	314,02
Acumulado no ano				1.376,38								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 2001

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
01	21,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02	28,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03	10,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,09	0,00	0,00
04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05	0,00	0,00	60,66	0,76	0,00	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07	0,00	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
09	4,84	0,00	87,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	3,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,27	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,35	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40	14,86
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,05	0,00	0,00	14,87
16	0,00	0,00	0,00	0,00	11,46	0,00	0,00	0,00	3,05	0,00	0,00	14,87
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,04	31,82
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,04	1,22
19	0,00	0,00	24,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,75	17,56
20	22,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,56	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82	0,00	0,00
22	7,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00	0,00	3,69	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,69	15,91
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,69	15,91
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,78	20,36
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,78	23,67
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,78	25,02
29	0,00	0,00	0,00	0,00	3,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,02
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,53	25,02
31	9,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78
Total	105,44	0,92	173,18	4,07	84,76	0,81	6,28	0,76	6,11	50,91	208,36	247,91
Acumulado no ano				889,52								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 2002

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,58	0,00	20,87	0,00
02	6,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,58	29,78	20,87	0,00
03	15,17	27,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04	9,75	0,00	0,00	0,00	17,56	0,00	66,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
05	9,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,11	0,00
06	9,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,43	11,10
07	1,27	0,00	0,00	19,86	0,00	0,00	0,00	0,00	16,55	0,00	3,31	11,10
08	0,00	37,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,15	0,00
09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,58
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,22
11	0,00	29,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00	46,58
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	41,75
13	4,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,93
15	0,00	31,82	10,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,21	23,93
16	0,00	31,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,23	11,20
17	13,49	31,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,21	0,00
18	12,47	0,00	0,00	0,00	1,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	12,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	12,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,82	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,56	24,69	0,00	0,00
23	0,00	0,00	3,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,67	1,27	0,00	0,00
24	43,53	0,00	3,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,89	0,00	3,82
25	18,66	0,00	3,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82
26	18,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	18,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,49
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,49
30	9,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,28	0,00	6,87
31	9,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,95	0,00	7,28
Total	225,72	189,80	20,34	19,86	89,35	5,62	66,95	1,27	85,15	77,87	214,16	235,16
Acumulado no ano				1.231,24								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 2003

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	7,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,70	2,34	48,65	28,18
2	55,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,65	0,00
3	35,04	0,00	0,00	0,00	1,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,03
4	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,49
5	5,33	0,00	0,00	0,00	10,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	31,56	0,00	0,00	4,82	3,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,64	60,28
7	44,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,14
8	12,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35	30,14
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,54
10	0,00	0,00	17,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,71
11	39,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,97	0,00	0,00
12	39,10	0,00	17,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,97	0,00	0,00
13	2,36	0,00	21,84	9,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,25	0,00
14	22,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,74	0,00	0,00	0,00
15	165,37	0,00	11,17	0,00	0,00	0,00	0,00	10,16	0,00	0,00	0,00	0,00
16	35,04	0,00	11,17	0,00	0,00	0,00	0,00	5,08	0,00	0,00	0,00	0,00
17	24,70	49,76	32,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,08	0,00	18,53	12,70
18	9,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,14	0,00
19	9,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,62	0,00
20	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,70	0,00
21	7,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,31	56,49
22	11,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,29	17,16
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,99	0,00	53,95
24	0,00	0,00	0,00	2,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,70
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,57	0,00	0,00	0,00	12,70
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,03	0,00	0,00	0,00	12,70
28	16,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,08	0,00	0,00	0,00	3,17
29	35,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,19	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50
31	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	617,97	49,76	111,21	16,00	15,92	5,62	9,20	26,91	33,51	62,26	244,30	375,57
Acumulado no ano				1.568,23								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 2004

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,22	5,20
2	56,52	0,00	30,47	0,00	0,00	0,00	0,00	7,62	0,00	0,00	0,00	5,97
3	16,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,43	0,00	0,00
4	16,19	0,00	52,05	7,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51
6	0,00	0,00	0,00	31,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,45	0,00	41,89
7	12,70	17,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,79
8	43,16	20,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,75
9	58,40	20,31	0,00	14,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,47
10	45,70	3,17	0,00	14,60	0,00	0,00	10,79	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35
11	10,16	24,76	0,00	14,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,70	0,00	6,35
12	28,56	0,00	0,00	38,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,43	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35
14	23,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	42,53	0,00	17,77	0,00	8,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	53,95	7,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	4,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	164,53	0,00
18	0,00	7,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,77	5,08
19	0,00	8,89	0,00	0,00	0,00	0,00	11,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	15,87	0,00	4,44	0,00	0,00	0,00	0,00	38,85
21	29,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,79
22	17,14	0,00	34,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,34
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,84
24	0,00	19,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,70
25	0,00	20,31	0,00	8,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,71	0,00	12,31
26	0,00	0,00	0,00	5,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,58	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,93	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	12,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,90	31,48
29	0,00	0,00	4,44	0,00	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,36	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	3,17	0,00	0,00	0,00	0,00	2,54	0,00
31	0,00	0,00	24,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,70
Total	400,55	199,97	171,38	137,61	38,09	3,17	26,41	7,62	5,62	100,21	240,32	296,71
Acumulado no ano				1.627,66								

LEGENDA:

 Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 2005

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	8,70	3,55	3,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,60	0,00
2	7,24	0,01	46,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	49,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,01	0,00
4	0,00	0,00	26,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,27	0,00
5	0,00	0,00	26,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,64
6	0,00	0,00	26,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,11
7	0,00	5,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,09	0,00
8	0,00	7,62	6,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	50,98	0,00
9	0,00	6,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	0,00
10	0,00	0,00	10,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	12,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	20,31	3,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,77
13	0,00	7,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,73	22,85
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,29
15	21,45	0,00	11,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	21,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00	1,70	0,00	0,00	7,24	0,00
17	18,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,17	0,00
18	40,62	13,08	12,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,18	0,00	25,39	0,00
19	1,27	13,08	11,68	0,00	0,00	2,54	0,00	0,00	0,00	0,00	13,61	0,00
20	0,00	13,08	11,81	0,00	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	13,61	1,27
21	0,00	0,00	5,46	11,30	0,00	8,51	0,00	0,00	0,00	0,00	1,07	41,89
22	21,07	0,00	0,00	0,00	10,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	21,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,01	34,40	0,00
25	0,00	26,02	53,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,93	0,00	0,00	0,00
26	20,95	0,00	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	19,93	0,00	0,00	15,87
27	8,12	15,87	0,00	1,27	0,00	0,00	1,37	0,00	22,04	0,00	39,53	0,00
28	6,73	6,35	1,27	1,27	0,00	0,25	0,00	0,00	4,16	0,00	1,07	5,15
29	5,08	0,00	0,00	2,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,70	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	2,16	14,02	0,00	0,00	0,00	0,00	14,65	1,45	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	2,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	222,10	121,50	318,39	19,30	26,33	11,70	2,64	1,70	103,64	60,35	314,46	233,84
Acumulado no ano				1.435,95								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

CONTROLE DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA
MINA DO ANDRADE - 2006

Dia	Jan (mm)	Fev (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	Mai (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Set (mm)	Out (mm)	Nov (mm)	Dez (mm)
1	0,00	0,00	2,16	3,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,18
2	0,00	0,00	15,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,37	0,00
3	11,68	0,00	3,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,66	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,88	24,45
5	9,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,68	0,00
6	0,00	0,00	21,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	3,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	33,01	1,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,96	19,80
9	0,00	0,00	19,17	5,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,16	0,00	89,37
10	0,00	2,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,92	0,00	41,64
11	0,00	20,41	38,34	0,00	14,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,93
12	0,00	52,30	6,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,55
13	0,00	34,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,96	27,93	21,58
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00	0,00	12,57	5,31	17,14
15	0,00	0,00	22,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,41
16	0,00	0,00	9,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,98	24,88
17	0,00	0,00	12,31	5,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,14
18	0,00	0,00	18,05	1,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,92
19	0,00	0,00	7,77	3,43	0,00	0,00	0,00	0,00	6,14	18,53	0,00	0,00
20	0,00	0,00	2,49	4,44	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	20,44	2,16	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,66	0,00	4,01	28,51
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,09	0,00
23	0,00	6,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,57	0,00	0,00
24	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,44	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	48,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,72
28	0,00	2,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,39	0,00
29	0,00	0,00	0,00	5,71	0,00	0,00	0,00	7,19	0,00	0,00	1,40	15,11
30	28,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,81	0,00	0,00	4,19	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	50,15	119,46	263,93	31,41	14,47	3,17	3,55	10,99	37,25	94,15	225,01	402,36
Acumulado no ano				1.255,89								

LEGENDA:

Valor referente a precipitação mensal corrigido.

PRECIPITAÇÃO DIÁRIA - ESTAÇÃO USINA PETI

ID	Data	Precipitação Diária (mm)																														
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1219	nov/86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	11,2	0,0	0,0	0,0	20,0	35,0	8,5	5,9	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	23,8	37,0	0,0	
1220	dez/86	6,8	4,2	0,0	14,2	0,0	0,0	5,2	0,6	0,0	21,0	0,6	11,8	44,0	4,5	6,6	10,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,6	24,6	26,2	21,2	4,8	10,0	9,4	2,2	10,4
1221	jan/87	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,7	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,8	25,0	0,0	18,2	9,2	10,8	0,4	2,6	9,8	16,4	10,6	0,2	8,8	2,4	0,0
1222	fev/87	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,6	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1223	mar/87	0,0	0,0	15,4	0,0	14,2	7,2	0,2	14,2	43,0	18,0	3,4	7,8	11,2	2,4	2,8	0,0	7,6	0,9	0,0	0,0	0,0	23,3	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,8
1224	abr/87	0,0	0,0	0,0	20,4	8,6	45,0	0,9	0,7	0,6	0,1	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1225	mai/87	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	4,4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	6,6	0,0	0,1	0,0	4,4	0,0	0,0	10,5	9,5	0,0	0,0	0,0	8,7	6,0	0,0	
1226	jun/87	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	34,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,1		
1227	jul/87	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	
1228	ago/87	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1229	set/87	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	17,6	0,6	0,0	4	17,2	3,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1230	out/87	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4	8,5	23,5	0,4	1,2	0,0	0,0	0,0	0,6	1,2	4,2	
1231	nov/87	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	17,1	0,9	0,2	1,2	1,0	18,7	33,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	7,2	13,4	10,1	0,0	
1232	dez/87	0,0	0,5	6,8	31,6	23,8	6,1	19,0	19,4	14,2	47,0	14,5	26,2	8,9	48,4	28,6	0,6	0,0	0,0	19,2	38,4	19,6	13,2	1,3	0,0	0,0	0,8	1,4	0,0	0,0	0,0	
1233	jan/88	56,9	33,5	31,6	28,3	9,6	4,6	3,8	0,6	13,2	0,6	20,2	19,0	10,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	35,8	
1234	fev/88	28,6	0,8	83,6	25,0	46,8	17,5	48,0	11,4	11,7	0,2	9,2	54,8	11,2	0,8	0,0	0,0	0,0	31,2	15,0	0,0	0,0	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1235	mar/88	0,0	0,0	14,2	0,0	17,8	39,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	5,3	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1236	abr/88	0,0	9,4	64,2	0,4	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,2	0,4	0,0	7,2	7,4	0,4	0,6	0,0	0,0	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0		
1237	mai/88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	23,4	1,0	0,0	0,0	12,6	
1238	jun/88	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1239	jul/88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1240	ago/88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1241	set/88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2		
1242	out/88	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	23,1	0,0	0,0	0,0	8,8	0,0	0,8	0,0	0,8	0,0	0,4	0,8	0,0	17,2	0,3	0,2	0,0	0,0	
1243	nov/88	0,0	0,0	2,4	23,8	14,4	0,1	3,0	4,5	0,0	18,9	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	0,0	1,0	0,2	0,0	0,0	2,0	12,2	10,8	19,0	0,0	0,0	0,3	17,4	0,0	0,0	
1244	dez/88	0,0	8,1	7,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	53,6	10,6	3,2	4,6	15,2	16,4	35,5	11,8	0,6	0,0	0,0	64,4	19,6	9,9	28,2	18,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1245	jan/89	0,0	6,4	26,2	12,2	0,0	0,0	0,0	9,4	10,4	24,8	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	0,4	0,0	0,4	28,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1246	fev/89	0,0	0,0	13,4	2,0	9,6	0,3	31,5	4,6	4,5	1,8	37,8	0,0	0,0	8,2	2,6	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1247	mar/89	0,0	0,0	0,0	5,0	14,6	0,0	7,3	32,6	7,2	8,0	0,0	0,0	21,8	8,6	6,6	15,9	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	
1248	abr/89	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	
1249	mai/89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	
1250	jun/89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	3,2	1,5	23,9	17,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,2	0,0	0,0	0,0	46,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1251	jul/89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	9,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	2,4	14,2	
1252	ago/89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,6	0,0	3,0	4,5	0,0	0,1
1253	set/89	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	0,0	9,1	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	0,0	32,4	2,6	
1254	out/89	16,0	1,4	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	2,3	0,0	2,4	0,0	9,9	13,7	0,4	0,0	3,0	18,6	0,4	8,6	0,8	0,0	0,4	20,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0
1255	nov/89	0,0	0,0	0,0	16,0	8,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	17,6	9,2	24,4	36,0	13,4	0,0	0,0	12,6	5,8	4,2	15,4	0,0	0,0	0,6	19,4	0,5	0,0	33,6	31,0	13,0	
1256	dez/89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	22,8	45,4	48,0	50,0	42,6	64,2	13,2	2,6	1,0	13,2	63,4	0,0	10,8	0,0	1,4	0,0	9,9	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0
1257	jan/90	26,0	3,4	19,0	0,8	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1258	fev/90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,4	0,0	1,0	6,6	7,4	5,7	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	18,2	28,6	0,6	37,4	0,0	2,0			
1259	mar/90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	12,0	9,6	0,0	0,0	3,0	5,4	5,4	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1260	abr/90	0,0	1,4	0,0	0,0	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	19,2	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,6	5,8	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	
1261	mai/90	0,0	7,4	28,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1262	jun/90	0,0	0,0	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6		
1263	jul/90	12,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,0	0,0	0,0	0,0	1,1	5,2																			

PRECIPITAÇÃO DIÁRIA - ESTAÇÃO USINA PETI

ID	Data	Precipitação Diária (mm)																															
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1266	out/90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,3	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	22,6	16,2	19,6	0,6	0,0	19,1	9,2	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
1267	nov/90	0,0	0,0	13,4	0,0	0,8	12,0	0,0	0,0	0,0	23,8	0,0	20,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	3,2	2,4	0,0	0,0	43,1	20,6	61,2	0,0	0,8	25,3	0,0			
1268	dez/90	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	40,0	0,0	0,0	6,8	9,0	0,6	0,4	0,0	25,6	3,4	0,1	31,4	4,6	0,4	0,0	0,0	0,0	5,0	1,0	0,0	0,0	14,0	0,0	
1269	jan/91	0,0	0,0	0,0	17,6	23,3	10,4	0,6	2,6	0,0	15,6	16,0	43,0	35,4	9,0	23,2	44,2	9,0	67,6	33,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,1	0,0	23,0	5,8	38,0	8,8	1,8	1,8	
1270	fev/91	43,0	0,0	0,0	0,0	15,8	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	12,4	0,6	9,4	4,9	37,7	27,8	78,1	0,0	38,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,1	9,4	0,0	0,0	0,0				
1271	mar/91	12,0	8,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	4,1	96,0	49,0	59,9	4,8	0,0	10,0	0,7	0,0	0,0	
1272	abr/91	3,4	2,7	15,6	1,6	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	34,0	0,1	0,0			
1273	mai/91	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	1,2	42,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	
1274	jun/91	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1275	jul/91	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	
1276	ago/91	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1277	set/91	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,1	0,1	0,0	22,0	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	12,2	6,0	0,0	1,0	0,1		
1278	out/91	22,0	0,2	12,0	0,1	0,7	0,0	14,6	18,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1279	nov/91	14,8	0,0	33,4	5,0	2,3	0,0	0,0	2,3	0,0	3,9	0,4	2,4	8,0	23,1	51,0	18,6	27,0	0,3	15,0	1,5	19,2	2,2	0,0	18,0	0,5	0,0	0,0	0,0	2,0	6,9		
1280	dez/91	0,1	8,9	0,0	4,0	0,0	0,0	2,4	2,8	0,0	0,4	0,3	0,0	0,6	0,0	9,2	0,0	0,0	0,0	3,3	26,6	0,9	12,6	0,0	0,0	42,0	0,0	8,3	12,2	5,1	3,3	0,0	
1281	jan/92	2,5	0,0	0,9	0,3	14,6	37,4	0,8	0,2	2,9	23,0	0,0	0,3	57,4	33,0	79,2	32,0	25,3	14,0	5,4	23,2	9,6	15,7	33,6	66,0	18,9	1,6	0,4	12,8	15,2	4,0	10,3	
1282	fev/92	7,0	8,0	52,3	27,0	34,5	16,9	7,6	1,6	0,5	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	1,6	5,6	7,0	0,0			
1283	mar/92	0,0	0,0	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	0,0	0,0	6,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1284	abr/92	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,5	14,6	21,9	0,9	0,0	0,0	0,0	31,0	3,9	0,0	8,4	0,3	4,3	10,3	0,0	0,0		
1285	mai/92	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1286	jun/92	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0		
1287	jul/92	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1288	ago/92	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	
1289	set/92	0,0	0,0	0,0	0,0	10,4	1,5	8,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	28,0	6,9	0,0	18,2	9,6	0,6	0,0	0,0	0,0	6,8	4,8	22,0	0,0	0,7			
1290	out/92	0,0	0,0	2,4	4,6	0,5	0,7	0,2	5,6	16,0	27,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	24,3	3,3	0,2	6,9	0,0	0,0	15,8	8,2	1,0	52,0		
1291	nov/92	45,6	13,8	10,4	20,8	36,2	31,4	29,0	3,2	1,5	56,0	54,3	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,6	13,8	0,3	6,5	0,6	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	
1292	dez/92	0,0	10,4	11,6	37,8	2,2	6,4	0,0	2,8	4,0	3,2	37,0	48,3	50,0	1,2	0,5	0,0	12,0	10,6	31,4	3,6	7,6	45,4	0,0	0,0	0,0	0,0	30,4	6,3	98,0	20,1	0,0	0,0
1293	jan/93	0,0	0,0	0,0	1,2	17,0	9,4	0,0	0,4	0,0	22,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	7,7	11,7	7,3	1,5	23,4	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1294	fev/93	0,0	0,0	0,0	2,4	3,5	3,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,6	4,7	1,4	22,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	7,1	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	
1295	mar/93	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,8	0,0	0,0	9,2	0,0	7,6	0,0	2,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1296	abr/93	13,5	0,0	22,0	4,6	13,8	0,0	0,4	0,0	1,3	0,0	0,9	11,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1297	mai/93	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1298	jun/93	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1299	jul/93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	
1300	ago/93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	0,0	1,6	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1301	set/93	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5	0,0	9,2	0,0	7,2	0,0	0,0	3,0	11,0		
1302	out/93	0,0	0,4	1,2	0,0	2,0	24,2	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	55,1	0,7	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1303	nov/93	0,0	0,0	0,3	26,5	0,0	0,0	23,6	29,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	7,8	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	3,2	0,0	2,6	0,0	0,0	
1304	dez/93	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	58,4	30,6	12,8	0,0	0,0	2,3	0,0	12,0	33,4	2,6	10,2	43,0	22,8	10,0	13,6	0,6	0,0	0,0	5,4	2,6	16,2		
1305	jan/94	22,0	0,5	16,2	26,8	4,2	16,6	0,0	0,0	27,6	1,0	8,8	17,6	1,6	2,2	11,8	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	26,5	12,5	58,3	0,6	2,4	4,2	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	
1306	fev/94	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	58,0	10,7					
1307	mar/94	6,4	0,0	34,6	11,4	0,7	28,0	82,6	7,4	0,0	3,2	0,0	0,0	18,0	48,4	0,2	0,0	0,0	50,3	0,0	0,5	4,2	0,1	1,4	0,0	11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1308	abr/94	0,1	38,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	3,2	1,4	0,0	0,0	0,0	23,5	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0		
1309	mai/94	0,0	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	10,8	0,0	14,6	0,0	0,0	0,2</												

PRECIPITAÇÃO DIÁRIA - ESTAÇÃO USINA PETI

ID	Data	Precipitação Diária (mm)																																
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
1360	ago/98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	27,2	5,0	8,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1361	set/98	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1362	out/98	0,0	7,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	6,4	6,8	0,0	23,7	6,8	2,9	2,4	0,6	11,5	14,6	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	5,3	21,0	4,9	11,5	
1363	nov/98	38,4	1,2	13,1	26,8	13,9	7,8	0,0	0,0	5,5	25,0	40,2	31,9	1,1	1,5	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	0,1	5,4	21,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	14,9	0,0	1,9		
1364	dez/98	32,0	0,0	1,1	0,0	2,7	9,9	9,9	3,5	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	19,6	0,0	16,4	31,5	13,4	8,5	0,0	13,6	0,0	0,0	0,0	15,6	0,7	0,0	0,0	11,9	12,8	40,0		
1365	jan/99	1,3	23,2	40,2	71,3	3,1	3,0	3,5	15,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	9,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,5	4,4	0,0	0,3			
1366	fev/99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	12,5	17,5	7,0	8,8						
1367	mar/99	4,6	9,5	10,0	7,7	0,0	39,1	7,4	10,0	0,0	4,2	4,0	0,0	85,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
1368	abr/99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	2,3	1,2	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
1369	mai/99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
1370	jun/99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
1371	jul/99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
1372	ago/99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
1373	set/99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	2,7	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
1374	out/99	0,1	0,0	0,1	4,8	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,5	10,4	23,8	14,2	2,0	0,0	0,0	0,0	8,1	0,3	0,0	0,0	0,2		
1375	nov/99	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	74,8	71,2	9,2	2,5	8,0	0,0	14,1	2,0	11,3	0,0	0,4	1,1	0,5	41,2	16,0	17,9	0,0	0,0	16,1	0,0	72,5	0,1	32,9	0,0			
1376	dez/99	0,0	12,2	0,0	0,0	13,8	23,5	24,8	13,6	6,0	0,0	13,4	7,0	29,6	7,0	0,0	0,0	0,0	28,2	0,3	0,0	0,0	0,0	24,2	7,7	0,0	0,0	2,7	0,6	1,7				
1377	jan/00	24,6	49,2	24,2	2,1	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	29,5	2,5	0,0	58,0	5,3	1,1	31,0	36,4	0,0	4,8	4,2	25,0	77,2	21,8	8,3	17,1			
1378	fev/00	2,9	10,4	14,2	0,0	0,0	15,4	91,0	18,1	6,1	9,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	1,4	4,7	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
1379	mar/00	0,0	0,0	0,3	0,0	3,9	0,0	0,0	14,7	0,1	2,2	49,0	33,1	30,0	0,0	0,0	15,8	12,2	16,0	2,0	10,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
1380	abr/00	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,4	0,0	0,0	19,2	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
1381	mai/00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0		
1382	jun/00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
1383	jul/00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
1384	ago/00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,3	0,1	0,0	0,0		
1385	set/00	0,0	0,0	17,5	5,5	0,2	0,0	13,9	0,6	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,5	1,9	0,0	0,0	0,0		
1386	out/00	0,0	27,0	0,0	0,0	0,0	0,2	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	9,2	0,2			
1387	nov/00	0,0	0,0	0,0	16,3	14,4	30,2	23,6	32,0	0,6	0,5	0,0	0,0	7,1	19,0	27,8	8,3	12,2	39,4	0,3	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	4,3	90,7	8,3	8,9				
1388	dez/00	7,5	3,6	29,3	18,3	59,0	14,8	8,2	2,4	0,0	0,0	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,9	61,2	3,6	0,0	0,8	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	40,6	2,0	19,0	32,8			
1389	jan/01	23,3	58,8	24,1	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	12,4	5,7	0,0	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
1390	fev/01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	5,4	0,0	0,0	0,5	0,0	1,4	12,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
1391	mar/01	1,1	0,3	1,8	0,0	0,0	39,1	3,9	0,0	3,5	4,1	34,2	24,3	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0		
1392	abr/01	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
1393	mai/01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0			
1394	jun/01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
1395	jul/01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
1396	ago/01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	4,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0		
1397	set/01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	28,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0		
1398	out/01	0,0	0,0	37,0	0,0	0,0	0,0	15,1	4,5	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	11,8	0,0	0,0	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6		
1399	nov/01	0,9	7,0	11,9	7,5	51,0	0,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	21,6	10,1	10,8	5,3	5,9	18,0	72,9	10,6	13,5	0,6	4,9	17,1	0,1	0,0	0,3	0,0	27,0	11,0				
1400	dez/01	17,8	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	12,0	37,5	36,1	43,0	8,2	0,2	0,5	0,0	13,9	9,6	8,7	49,5	14,6	18,2	44,9	65,2			
1401	jan/02	8,0	2,0	0,0	18,6	22,7	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	11,6	42,8	25,4	2,4	34,1	103,0	16,0	0,0	0,0	0,0	90,4	73,1	5,4	0,0	0,0	0,8	6,8				
1402	fev/02	0,0	7,3	23,7	1,6	0,0	0,0	0,0	35,7	35,7	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,9	58,8	12,6	8,2	11,9	0,0	13,9	6,1	0,2	0,0	0,2	0,0					
1403	mar/02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	9,8	0,6	0,0	0,0	4,6	0,0	0,1	0,0	16,6	2,9								

PRECIPITAÇÃO DIÁRIA - ESTAÇÃO USINA PETI

ID	Data	Precipitação Diária (mm)																																		
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
1407	jul/02	0,0	0,0	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	0,2	0,0	1,0	0,0	0,0	23,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
1408	ago/02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0			
1409	set/02	15,8	2,3	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,6	12,5	28,3	13,0	20,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
1410	out/02	0,0	24,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,4	0,0	0,2	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8				
1411	nov/02	16,2	10,6	1,4	0,0	2,2	22,0	39,0	3,9	0,0	0,0	11,0	17,1	0,0	0,7	5,3	17,4	41,2	4,5	5,2	0,0	0,3	13,7	18,8	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
1412	dez/02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,8	11,1	2,1	13,8	29,1	69,1	86,7	25,4	26,0	3,0	2,8	4,1	0,0	0,0	0,0	3,6	4,4	1,0	0,2	8,0	4,0	0,0	0,0	10,0	15,0				
DADOS AINDA NÃO CONSISTIDOS PELA ESTAÇÃO																																				
685	jan/03	44,4	0,5	10,4	101,0	10,5	7,4	32,4	59,0	7,9	0,3	21,9	0,3	6,2	3,9	36,1	138,0	35,0	35,0	17,5	7,9	0,6	56,6	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4	1,4		
686	fev/03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
687	mar/03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	5,5	0,0	21,3	26,1	1,3	3,4	5,3	14,5	7,4	3,4	0,0	1,8	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	0,0	0,0	0,0		
688	abr/03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	2,9	0,4	0,0	5,7	0,0	0,0	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
689	mai/03	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	13,3	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
690	jun/03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
691	jul/03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
692	ago/03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	2,0	0,2	5,9	0,2	0,0	0,0		
693	set/03	0,0	6,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2	0,0	0,0	2,5	3,4	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,4	0,4	0,0	0,0		
694	out/03	9,8	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	3,9	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
695	nov/03	0,6	16,3	109,0	0,1	0,0	0,0	8,5	13,5	2,0	0,8	0,0	0,0	0,0	3,9	0,1	0,0	0,0	11,5	6,8	63,0	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
696	dez/03	0,2	18,8	0,7	5,4	5,7	18,2	34,0	56,2	2,4	0,0	0,4	0,0	0,0	10,5	2,0	0,0	0,0	2,0	0,7	0,4	0,0	52,4	3,5	36,8	1,5	3,8	6,7	0,2	1,5	10,0	0,0	0,0	0,0		
697	jan/04	0,0	48,0	80,0	5,0	2,2	1,2	14,7	1,5	62,0	47,8	15,0	22,4	48,6	0,9	50,8	37,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	16,1	45,0	1,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,0		
698	fev/04	0,0	23,5	2,0	2,4	0,0	0,0	7,6	25,4	34,2	22,0	10,4	40,0	0,7	0,0	0,8	5,4	1,8	25,7	20,6	2,6	12,5	2,7	0,0	17,8	23,5	17,0	3,1	0,0	16,4	0,0	0,0	0,0	0,0		
699	mar/04	0,0	0,0	90,6	35,0	65,6	12,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	10,2	0,0	1,7	37,0	0,3	15,4	0,0	0,5	5,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	21,9	0,0		
700	abr/04	20,3	20,8	0,8	0,0	16,4	2,0	8,7	0,2	0,9	51,2	1,8	18,2	12,0	1,5	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	15,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
701	mai/04	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,3	0,0	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	8,1	12,6	0,0	0,0	0,0		
702	jun/04	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0		
703	jul/04	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	9,4	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
704	ago/04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
705	set/04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
706	out/04	0,0	0,0	0,0	15,1	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	8,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	21,0	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	
707	nov/04	0,0	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	40,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,1	43,6	4,8	18,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	26,0	16,0	0,0	0,0	0,0	
708	dez/04	7,2	1,2	1,8	0,4	0,0	2,9	14,7	30,3	2,8	24,8	10,0	11,5	29,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	4,0	3,0	19,0	28,8	52,3	23,0	0,0	0,0	0,0	1,7	74,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
709	jan/05	0,0	16,0	0,0	6,8	2,6	2,5	0,0	0,8	1,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	11,5	42,0	10,6	20,6	21,4	1,4	0,0	12,6	0,4	0,0	0,0	9,6	1,8	19,7	0,1	2,2	0,0	0,0	0,0	
710	fev/05	4,1	4,8	4,9	0,0	0,0	13,4	0,0	0,1	0,4	2,1	0,6	2,1	13,2	5,7	0,0	0,0	8,5	0,0	4,0	18,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,1	2,1	29,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
711	mar/05	3,2	90,0	44,0	56,0	76,3	15,9	0,0	0,3	2,2	0,0	4,5	37,0	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0	0,0	0,1	17,0	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
712	abr/05	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	5,7	0,1	0,0	2,9	0,0	0,0	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0	
713	mai/05	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	0,0
714	jun/05	2,1	1,8	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
715	jul/05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
716	ago/05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
717	set/05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	79,2	14,4	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
718	out/05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
719	nov/05	26,5	21,4	22,4	15,8	45,2	0,3	0,0	1,0	28,0	0,1	20,0	6,0	2,3	0,2	0,0	0,0	0,9	18,0	5,6	17,7	17,1														

Anexo B – Perfis Geológicos das Sondagens Executadas na Mina do Andrade Mencionadas neste Trabalho

B.1. Sondagens Exploratórias

 Companhia Vale do Rio Doce		DIRETORIA DE FERROSOS SISTEMA SUL		Projeto:	Campanha 2005
				Furo:	FDBU0001
DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DE TESTEMUNHOS				Mina:	Bocaina
				Intervalo	
De (m)	Até (m)	Comp. (m)	CLV		

0	1,75	1,75	AT	Aterro. , cor não observada, não se aplica ou não observado.
1,75	5,25	3,5	SR	Sem Recuperação.
5,25	15,2	9,95	RO	Rolado. Material semi-compacto, muito hidratado, ocre, acinzentado escuro, estrutura maciça. Composto por: goethita, limonita, hematita, quartzo. porosidade alta, granulometria do quartzo fina, não magnético, contato inferior brusco. Observações: Canga detritica com matriz silteargilosa e composta por fragmentos de hematita .
15,2	17,55	2,35	XI	Xisto. Material friável, muito hidratado, laranja, esbranquiçado claro, estrutura foliada. Composto por: sericita, talco, caulim, porosidade alta, não se aplica ou não observado.
17,55	19,4	1,85	SR	Sem Recuperação.
19,4	22,95	3,55	XI	Xisto. Material friável, muito hidratado, laranja, esbranquiçado claro, estrutura foliada. Composto por: sericita, talco, caulim, porosidade alta, não se aplica ou não observado, contato inferior brusco.
22,95	30,4	7,45	IF	Itabirito Friável. Material friável, não hidratado, cinza escuro, estrutura laminada. Composto por: magnetita, quartzo, caulim, martita. grau de fraturamento médio, porosidade alta, granulometria do quartzo média, muito magnético, liberação de sílica baixa, contato inferior gradacional. Observações: Itabirito de pobre teor, intercalação de itabirito de semi-compacto constituído por grãos submilimétricos de magnetita. Observa-se veio de quartzo fraturado composto

 Companhia Vale do Rio Doce				DIRETORIA DE FERROSOS SISTEMA SUL		Projeto: Campanha 2005	
						Furo: FDBU0001	
DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DE TESTEMUNHOS				Mina: Bocaina			
Intervalo				Descrição			
De (m)	Até (m)	Comp. (m)	CLV				
30,4	33,95	3,55	QT	Quartzito. Material friável, não hidratado, branco, amarelado claro, estrutura maciça. Composto por: quartzo, argilominerais, hematita, granulometria do quartzo grossa, não se aplica ou não observado, contato inferior brusco. Observações: A partir de 30,40 m até 31,55 m de profundidade predomina talco-quartzo-xisto com magnetita.			
33,95	42,75	8,8	XI	Xisto. Material friável, muito hidratado, laranja, esbranquiçado claro, estrutura foliada. Composto por: sericita, talco, quartzo, não se aplica ou não observado, contato inferior gradacional. Observações: Passagem centimétrica de quartzito.			
42,75	48,9	6,15	AN	Anfibolito. Material compacto, pouco hidratado, verde claro, estrutura foliada. Composto por: anfibolio, quartzo, não magnético.			

 Companhia Vale do Rio Doce				DIRETORIA DE FERROSOS SISTEMA SUL		Projeto: Campanha 2005	
						Furo: FDBU0002	
DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DE TESTEMUNHOS				Mina: Bocaina			
Intervalo				Descrição			
De (m)	Até (m)	Comp. (m)	CLV				
0	3,3	3,3	AT	Aterro. , cor não observada, não se aplica ou não observado.			
3,3	8	4,7	CG	Canga. Material friável, muito hidratado, vermelho, amarronzado escuro. Composto por: goethita, limonita, hematita, quartzo. porosidade alta, não se aplica ou não observado, contato inferior brusco.			
8	20,1	12,1	IF	Itabirito Friável. Material friável, não hidratado, cinza escuro, estrutura bandada. Composto por: quartzo, martita, especularita, magnetita. porosidade alta, granulometria do quartzo média, pouco magnético, liberação de sílica alta, contato inferior brusco concordante. Observações: Itabirito de médio teor. Intervalo sem recuperação (9,40 a 10,25 e 17,55 a 18,00m de profundidade). Observa-se películas de talco ao longo do plano da foliação.			
20,1	22,75	2,65	SR	Sem Recuperação. , cor não observada, não se aplica ou não observado.			
22,75	28,4	5,65	IF	Itabirito Friável. Material friável, não hidratado, cinza escuro, estrutura bandada. Composto por: quartzo, martita, especularita, magnetita. porosidade alta, granulometria do quartzo média, pouco magnético, liberação de sílica alta, contato inferior brusco concordante. Observações: Itabirito friável a pulverulento. Intercalações de xisto friável e muito alterado localizadas entre 25,60 e 25,80m e 27,00 e 28,40m de profundidade.			
28,4	50	21,6	IC	Itabirito Compacto. Material compacto, não hidratado, cinza escuro, estrutura bandada. Composto por: quartzo, magnetita, especularita, martita. porosidade inexistente, granulometria do quartzo fina, pouco magnético, liberação de sílica baixa. Observações: Foliação irregular e varia desde 15° até 60°. Observa-se dobras complexas. Nota-se películas de filossilicatos ao longo da foliação. Nível centímetrica de xisto friável e muito alterado.			

 Companhia Vale do Rio Doce				DIRETORIA DE FERROSOS SISTEMA SUL		Projeto:	Campanha 2005
						Furo:	FDBU0003
DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DE TESTEMUNHOS						Mina:	Bocaina
						Intervalo	
De (m)	Até (m)	Comp. (m)	CLV				

0	1,8	1,8 AT	Aterro.
---	-----	--------	---------

1,8	4,9	3,1 SO	Solo.
-----	-----	--------	-------

4,9	18,5	13,6 QT	<p>Quartzito. Material friável, laranja, esbranquiçado claro, estrutura foliada. Composto por: quartzo, sericita, hematitagrau de fraturamento baixo, porosidade alta, granulometria do quartzo média, não se aplica ou não observado, contato inferior gradacional. Observações: Quartzito friavel a semi-compacto. De 15,15 a 15,95 m de profundidade, o material não recuperado.</p>
-----	------	---------	---

18,5	34,9	16,4 IF	<p>Itabirito Friável. Material friável, não hidratado, cinza claro, estrutura laminada. Composto por: quartzo, especularita, magnetita, martita. porosidade alta, granulometria do quartzo fina, pouco magnético, liberação de sílica alta, contato inferior brusco. Observações: Itabirito de médio teor e com passagens de itabirito semi-compacto (22,75 a 23,85m; 26,70 a 29,40m).</p>
------	------	---------	--

34,9	50,05	15,15 IC	<p>Itabirito Compacto. Material compacto, não hidratado, cinza claro, estrutura laminada. Composto por: quartzo, martita, especularita, magnetita. grau de fraturamento baixo, granulometria do quartzo fina, pouco magnético, liberação de sílica baixa, contato inferior gradacional. Observações: Itabirito de médio a pobre teor, nota-se dobras (48,40 a 49,00m). Intercalação de xisto friável.</p>
------	-------	----------	---

50,05	53,25	3,2 XI	<p>Xisto. Material semi-compacto, branco claro, estrutura foliada. Composto por: sericita, talco, não se aplica ou não observado. Observações: Passagem de itabirito semi-compacto (53,00a 53,25m)</p>
-------	-------	--------	--

 Companhia Vale do Rio Doce				DIRETORIA DE FERROSOS SISTEMA SUL		Projeto: campanha 2006
						Furo: FDDE0005 (INA-AN 04/05)
DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DE TESTEMUNHOS						Mina: Andrade
Intervalo				Descrição		
De (m)	Até (m)	Comp. (m)	CLV			
0	31,5	31,5	XI	Xisto. Material semi-compacto, muito hidratado, verde, avermelhado claro, estrutura foliada. Composto por: anfíbio, quartzo, argilominerais grau de fraturamento baixo, não se aplica ou não observado, contato inferior brusco.		
31,5	34,15	2,65	VQ	Veio de Quartzo. Material semi-compacto, branco, amarelado claro, estrutura maciça. Composto por: quartzo, sericita, talco grau de fraturamento médio, granulometria do quartzo média, não se aplica ou não observado, contato inferior brusco.		
34,15	100,85	66,7	XI	Xisto. Material semi-compacto, pouco hidratado, verde, esbranquiçado claro, estrutura foliada. Composto por: anfíbio, granada, quartzo, argilominerais grau de fraturamento baixo, não se aplica ou não observado, contato inferior brusco.		
100,85	102,6	1,75	QT	Quartzito. Material compacto, pouco hidratado, branco, acinzentado claro, estrutura foliada. Composto por: quartzo, sericita, talco grau de fraturamento baixo, não se aplica ou não observado.		

 Companhia Vale do Rio Doce				DIRETORIA DE FERROSOS SISTEMA SUL		Projeto:	Campanha 2005
						Furo:	FDDE0008
DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DE TESTEMUNHOS						Mina:	Andrade
Intervalo				Descrição			
De (m)	Até (m)	Comp. (m)	CLV				

0	7	7 AT	Aterro.
---	---	------	---------

7	9	2 SO	Solo.
---	---	------	-------

9	20,1	11,1 RO	<p>Rolado. Material friável, muito hidratado, cinza, alaranjado escuro, estrutura maciça. Composto por: hematita, martita, goethita, pouco magnético. Observações: Observa-se fragmentos de HC maciça e fraturada e passagens de HF e de material argiloso. Intervalo sem recuperação - 13,40 a 14,15m.</p>
---	------	---------	---

20,1	23,9	3,8 XI	<p>Xisto. Material friável, muito hidratado, laranja claro, estrutura foliada. Composto por: talco, argilominerais, quartzo, não se aplica ou não observado, contato inferior brusco.</p>
------	------	--------	---

23,9	31,45	7,55 IF	<p>Itabirito Friável. Material friável, pouco hidratado, cinza claro, estrutura laminada. Composto por: hematita, magnetita, quartzo, talco. porosidade alta, granulometria do quartzo fina, muito magnético, liberação de sílica alta, contato inferior brusco. Observações: IF(de médio teor) e com passagens de IS e de XI friável.</p>
------	-------	---------	---

31,45	44,2	12,75 IS	<p>Itabirito Semi-Compacto. Material semi-compacto, pouco hidratado, cinza escuro, estrutura laminada. Composto por: specularita, martita, quartzo, talco. grau de fraturamento baixo, porosidade inexistente, granulometria do quartzo fina, pouco magnético, liberação de sílica baixa, contato inferior gradacional. Observações: IS de médio teor, com passagens de IF e de IC e, com foliação variando de 30° a 55°.</p>
-------	------	----------	---

44,2	50,65	6,45 QT	<p>Quartzito. Material semi-compacto, branco, amarelado claro, estrutura foliada. Composto por: quartzo, sericita, magnetita grau de fraturamento baixo, porosidade inexistente, não se aplica ou não observado, contato inferior gradacional.</p>
------	-------	---------	--

 Companhia Vale do Rio Doce				DIRETORIA DE FERROSOS SISTEMA SUL		Projeto: Campanha 2005	
						Furo: FDDE0008	
DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DE TESTEMUNHOS							
Intervalo				Descrição			
De (m)	Até (m)	Comp. (m)	CLV				

50,65	89,3	38,65	XI	<p>Xisto. Material compacto, verde, esbranquiçado escuro, estrutura foliada. Composto por: anfibolio, quartzo, sericitagrau de fraturamento baixo, não se aplica ou não observado. Observações: Sobreposição de material no intervalo de 79,25 a 79,80m de profundidade.</p>
-------	------	-------	----	--

 Companhia Vale do Rio Doce				DIRETORIA DE FERROSOS SISTEMA SUL		Projeto: campanha 2006	
						Furo: FDDE0010 (PZ-AN 07/05)	
DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DE TESTEMUNHOS							
Intervalo				Descrição			
De (m)	Até (m)	Comp. (m)	CLV				

0	4,9	4,9	AT	<p>Aterro. Material friável, pouco hidratado, cinza escuro. Composto por: hematita, quartzo, especularita, porosidade alta, granulometria do quartzo fina, não magnético, liberação de sílica baixa.</p>
---	-----	-----	----	--

4,9	8,25	3,35	CO	<p>Colúvio. Material friável, muito hidratado, vermelho escuro, estrutura maciça. Composto por: argilominerais, quartzo, caulim, granulometria do quartzo média, não se aplica ou não observado, contato inferior brusco.</p>
-----	------	------	----	---

8,25	49,7	41,45	XI	<p>Xisto. Material friável, muito hidratado, verde claro, estrutura xistosa. Composto por: argilominerais, quartzo, biotita, clorita. não se aplica ou não observado, contato inferior brusco.</p>
------	------	-------	----	--

49,7	60,2	10,5	QF	<p>Quartzito Ferruginoso. Material friável, pouco hidratado, amarelo, acinzentado claro, estrutura maciça. Composto por: quartzo, sericita, magnetitagrau de fraturamento médio, granulometria do quartzo média, pouco magnético. Observações: A partir de 56,10m predomina QF laminado. De 59,75 a 60,20m ocorre xisto friável e muito alterado.</p>
------	------	------	----	---

 Companhia Vale do Rio Doce	DIRETORIA DE FERROSOS SISTEMA SUL			Projeto:	Campanha 2005
				Furo:	FDDE0013
DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DE TESTEMUNHOS				Mina:	Andrade
				Intervalo	
De (m)	Até (m)	Comp. (m)	CLV		

0	2,05	2,05	AT	Aterro. Material friável.
2,05	10,6	8,55	CO	Colúvio. Material friável, muito hidratado, vermelho claro. Composto por: quartzo, hematita, argilominerais, granulometria do quartzo fina, não se aplica ou não observado, contato inferior brusco discordante.
10,6	67,6	57	XI	Xisto. Material friável, muito hidratado, verde claro, estrutura foliada. Composto por: anfíbolio, biotita, quartzo, argilominerais. grau de fraturamento baixo, granulometria do quartzo fina, não se aplica ou não observado, contato inferior gradacional.
67,6	118,75	51,15	XI	Xisto. Material compacto, pouco hidratado, verde, esbranquiçado claro, estrutura maciça. Composto por: anfíbolio, biotita, quartzo, granada. grau de fraturamento baixo, granulometria do quartzo fina, não se aplica ou não observado, contato inferior gradacional.
118,75	144,7	25,95	IC	Itabirito Compacto. Material compacto, pouco hidratado, cinza claro, estrutura laminada. Composto por: especularita, magnetita, quartzo, talco. grau de fraturamento baixo, porosidade alta, granulometria do quartzo média, pouco magnético, liberação de sílica baixa, contato inferior brusco concordante. Observações: IC (de pobre teor) e com foliação irregular(30° a 75°). Observa-se lâminas de hematita/ sílica interrompidas.Nota-se dobras complexas e bainhas.
144,7	146,9	2,2	XI	Xisto. Material semi-compacto, muito hidratado, cinza, esbranquiçado claro, estrutura xistosa. Composto por: sericita, quartzo, biotita grau de fraturamento baixo, granulometria do quartzo fina, não se aplica ou não observado, contato inferior brusco concordante.
146,9	162,85	15,95	IC	Itabirito Compacto. Material compacto, pouco hidratado, cinza claro, estrutura laminada. Composto por: especularita, magnetita, quartzo, talco. grau de fraturamento baixo, porosidade inexistente, granulometria do quartzo fina, pouco magnético, liberação de sílica baixa, contato inferior brusco concordante. Observações: IC (de pobre teor) e com presença de sulfetos nas lâminas de magnetita

 Companhia Vale do Rio Doce				DIRETORIA DE FERROSOS SISTEMA SUL		Projeto: Campanha 2005	
						Furo: FDDE0013	
DESCRIBÇÃO GEOLÓGICA DE TESTEMUNHOS						Mina: Andrade	
				Intervalo			
De (m)	Até (m)	Comp. (m)	CLV				
162,85	166,85	4	XI	Xisto. Material semi-compacto, muito hidratado, verde escuro, estrutura foliada. Composto por: clorita, biotita, feldspato, anfíbolio. grau de fraturamento médio, não se aplica ou não observado, contato inferior brusco.			
166,85	187,6	20,75	IC	Itabirito Compacto. Material compacto, pouco hidratado, cinza claro, estrutura laminada. Composto por: especularita, quartzo, magnetita, talco. grau de fraturamento baixo, porosidade inexistente, granulometria do quartzo fina, pouco magnético, liberação de sílica baixa, contato inferior gradacional. Observações: IC (de pobre teor) e com películas de talco ao longo da foliação. Nota-se passagens de IC com foliação irregular e dobras complexas			
187,6	201,65	14,05	QT	Quartzito. Material compacto, não hidratado, cinza claro, estrutura maciça. Composto por: quartzo, especularita, talco, magnetita. grau de fraturamento médio, granulometria do quartzo média, pouco magnético, contato inferior gradacional.			
201,65	211,5	9,85	XI	Xisto. Material semi-compacto, pouco hidratado, branco, acinzentado claro, estrutura xistosa. Composto por: sericita, biotita, quartzo, magnetita. grau de fraturamento baixo, granulometria do quartzo média, pouco magnético, contato inferior brusco concordante. Observações: Observa-se veio de quartzo milimétrico a centimétrico contendo, esporadicamente, sulfetos			
211,5	252,1	40,6	XI	Xisto. Material compacto, não hidratado, verde, esbranquiçado escuro, estrutura foliada. Composto por: anfíbolio, biotita, quartzo, pirita. grau de fraturamento baixo, não se aplica ou não observado.			

 Companhia Vale do Rio Doce				DIRETORIA DE FERROSOS SISTEMA SUL		Projeto: Campanha 2005	
						Furo: FDDE0067	
DESCRIBÇÃO GEOLÓGICA DE TESTEMUNHOS				Mina: Andrade			
Intervalo				Descrição			
De (m)	Até (m)	Comp. (m)	CLV				
0	82,25	82,25	IF	Itabirito Friável. Material friável, pouco hidratado, cinza, esbranquiçado escuro, estrutura laminada. Composto por: hematita, quartzo, magnetita, manganês. porosidade alta, granulometria do quartzo fina, pouco magnético, liberação de sílica alta, contato inferior brusco. Observações: IF teor pobre. Passagem de IP. Presença de SiO ₂ amarelada e rosada			
82,25	87,6	5,35	XI	Xisto. Material friável, muito hidratado, rosa, amarronzado escuro, estrutura xistosa. Composto por: argilominerais, caulim, sericita, manganês. não se aplica ou não observado, contato inferior brusco. Observações: Localmente apresenta cor ocre, qz com gran fina/med. IF com níveis de mg (87.35/87.60m)			
87,6	142,6	55	XI	Xisto. Material compacto, pouco hidratado, cinza, esverdeado escuro, estrutura xistosa. Composto por: sericita, biotita, granada, flogopita. grau de fraturamento baixo, não se aplica ou não observado. Observações: Ocorrem tb anf, qz, estauroлита, vermiculita, raras mc, localmente vênulas preenchidas por SiO ₂			

 Companhia Vale do Rio Doce				DIRETORIA DE FERROSOS SISTEMA SUL		Projeto:	Campanha 2005
						Furo:	FDDE0078
DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DE TESTEMUNHOS						Mina:	Andrade
Intervalo				Descrição			
De (m)	Até (m)	Comp. (m)	CLV				

0	0,7	0,7	AT	Aterro. , cor não observada, não se aplica ou não observado, contato inferior gradacional.
---	-----	-----	----	---

0,7	2,8	2,1	SR	Sem Recuperação.
-----	-----	-----	----	------------------

2,8	15	12,2	AT	Aterro. , cor não observada, não se aplica ou não observado, contato inferior gradacional.
-----	----	------	----	---

15	31,5	16,5	RO	Rolado. Material friável, muito hidratado, laranja, amarronzado escuro. Composto por: argilominerais, hematita, quartzo, caulim. não se aplica ou não observado, contato inferior gradacional. Observações: IS rico (18.00/19.00m); ocorrem frags de hm e, raramente, mn
----	------	------	----	---

31,5	69,9	38,4	XI	Xisto. Material friável, muito hidratado, ocre escuro. Composto por: argilominerais, sericita, muscovita, manganês. não se aplica ou não observado, contato inferior brusco. Observações: Próximo ao intervalo inf. mostra-se semi-compacto, verde acinzentado; anf alterado em esmectita (?)
------	------	------	----	--

69,9	105,3	35,4	IC	Itabirito Compacto. Material compacto, não hidratado, cinza, esbranquiçado claro, estrutura laminada. Composto por: hematita, quartzo, magnetita, especularita. grau de fraturamento alto, granulometria do quartzo fina, pouco magnético, liberação de sílica baixa, contato inferior brusco. Observações: Próximo ao intervalo inf ocorrem frats preenchidas por ta; teor pobre
------	-------	------	----	--

105,3	107,5	2,2	XI	Xisto. Material compacto, pouco hidratado, branco, estrutura xistosa. Composto por: sericita, muscovita, quartzo, flogopita. grau de fraturamento baixo, granulometria do quartzo fina, não se aplica ou não observado, contato inferior brusco.
-------	-------	-----	----	---

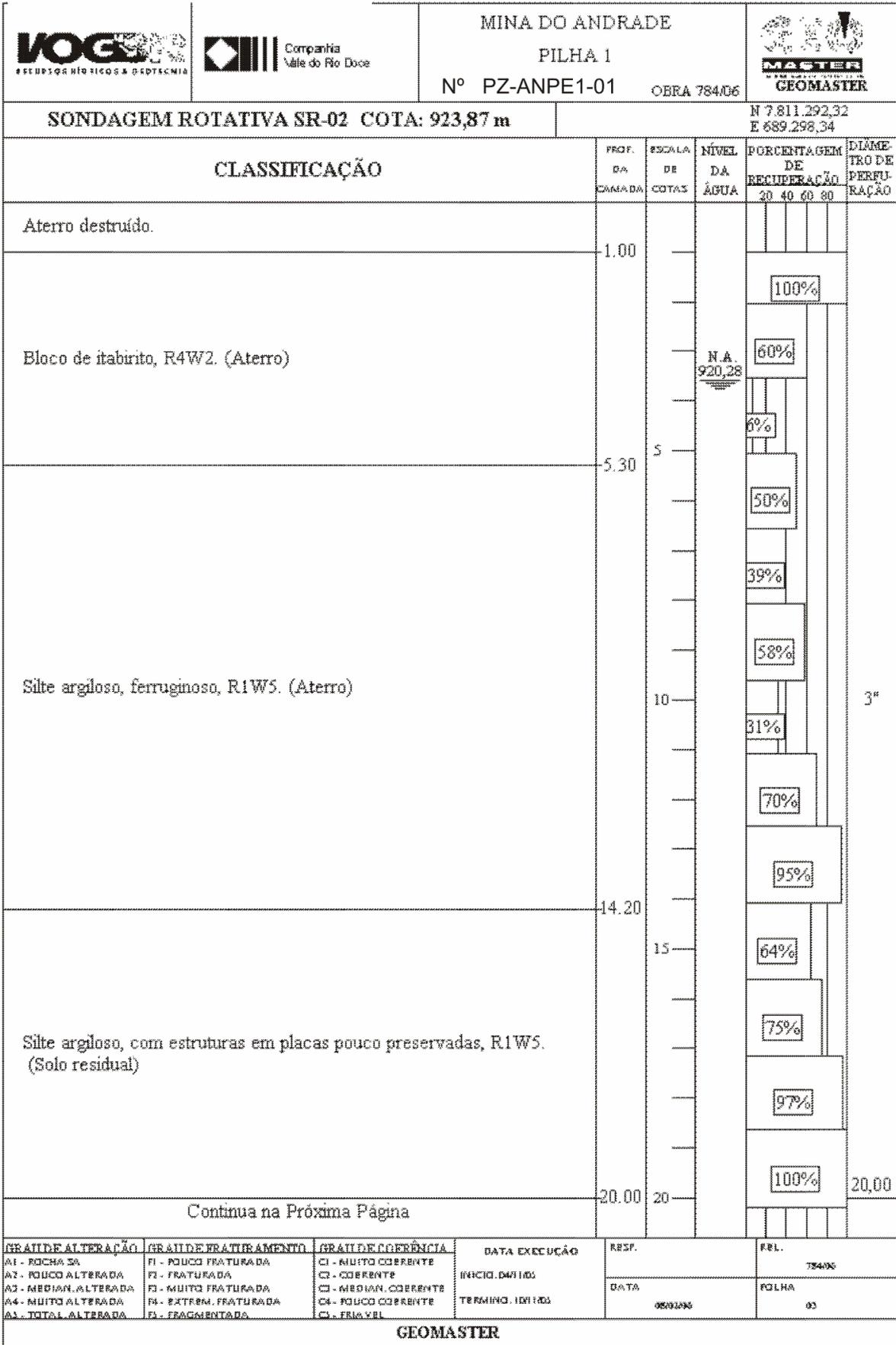
 Companhia Vale do Rio Doce				DIRETORIA DE FERROSOS SISTEMA SUL		Projeto:	Campanha 2005	
DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DE TESTEMUNHOS							Furo:	FDDE0078
							Mina:	Andrade
Intervalo				Descrição				
De (m)	Até (m)	Comp. (m)	CLV					
107,5	120,2	12,7	IC	<p>Itabirito Compacto. Material compacto, não hidratado, cinza, esbranquiçado escuro, estrutura laminada. Composto por: hematita, quartzo, magnetita, especularita. grau de fraturamento médio, granulometria do quartzo fina, muito magnético, liberação de sílica baixa, contato inferior brusco. Observações: Próximo ao contato inf ocorre concentração alta de níveis de mg</p>				
120,2	124,75	4,55	XI	<p>Xisto. Material compacto, pouco hidratado, verde escuro, estrutura xistosa. Composto por: clorita, talco, sericitagru de fraturamento baixo, não se aplica ou não observado, contato inferior brusco. Observações: IC teor med (121.40/122.60m)</p>				
124,75	146,35	21,6	IC	<p>Itabirito Compacto. Material compacto, pouco hidratado, cinza, esbranquiçado escuro, estrutura laminada. Composto por: hematita, quartzo, especularita, magnetita. grau de fraturamento baixo, granulometria do quartzo fina, pouco magnético, liberação de sílica baixa, contato inferior brusco. Observações: Algumas frats preenchidas por ox e cl (?)</p>				
146,35	190,5	44,15	QT	<p>Quartzito. Material compacto, não hidratado, branco, estrutura maciça. Composto por: quartzo, sericita, magnetitagru de fraturamento baixo, granulometria do quartzo fina, muito magnético, contato inferior brusco. Observações: Alta concentração de mg ocorre próxima ao intervalo inf. QT sericítico compacto (174.55/175.10m; 176.80/177.15m)</p>				
190,5	196,5	6	XI	<p>Xisto. Material compacto, pouco hidratado, cinza, esverdeado claro, estrutura xistosa. Composto por: clorita, sericita, muscovita, quartzo. grau de fraturamento baixo, granulometria do quartzo fina, pouco magnético, contato inferior brusco. Observações: ICT , teor mto pobre (194.00/196.50m). Presença de cl,ta e raros níveis de mg</p>				
196,5	200,65	4,15	QT	<p>Quartzito. Material compacto, não hidratado, cinza, esverdeado claro, estrutura laminada. Composto por: quartzo, sericita, clorita, magnetita. grau de fraturamento baixo, granulometria do quartzo fina, pouco magnético, contato inferior brusco. Observações: Os níveis contendo mg e cl ocorrerem dispersos por todo o intervalo</p>				
200,65	221,5	20,85	XI	<p>Xisto. Material compacto, não hidratado, cinza escuro, estrutura xistosa. Composto por: anfíbio, sericita, pirita. grau de fraturamento baixo, não se aplica ou não observado. Observações: Raramente ocorrem vênulas de SiO₂. A presença de py está associada a estas vênulas</p>				

 Companhia Vale do Rio Doce				DIRETORIA DE FERROSOS SISTEMA SUL		Projeto:	
DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DE TESTEMUNHOS						Furo: FDDE0158	
						Mina: Andrade	
Intervalo				Descrição			
De (m)	Até (m)	Comp. (m)	CLV				
0	31,3	31,3	IF	Itabirito Friável. Material friável, não hidratado, cinza, azulado escuro, estrutura maciça. Composto por: especularita, quartzo, argilominerais, porosidade alta, granulometria do quartzo fina, não magnético, liberação de sílica alta, contato inferior gradacional. Observações: IF rico +HC+HF. Películas de Ta na base. Pilha de minério.			
31,3	37,1	5,8	IF	Itabirito Friável. Material friável, pouco hidratado, cinza, amarronzado escuro, estrutura maciça. Composto por: quartzo, especularita, argilominerais, talco. porosidade alta, granulometria do quartzo fina, não magnético, liberação de sílica alta, contato inferior gradacional. Observações: IF médio c/muito material argiloso e H hidratada.			
37,1	38	0,9	XI	Xisto. Material friável, pouco hidratado, ocre, alaranjado claro, estrutura xistosa. Composto por: argilominerais, quartzo, sericita, porosidade alta, não se aplica ou não observado. Observações: XI friável. Algumas partes contendo bandas de especularita em seu interior.			

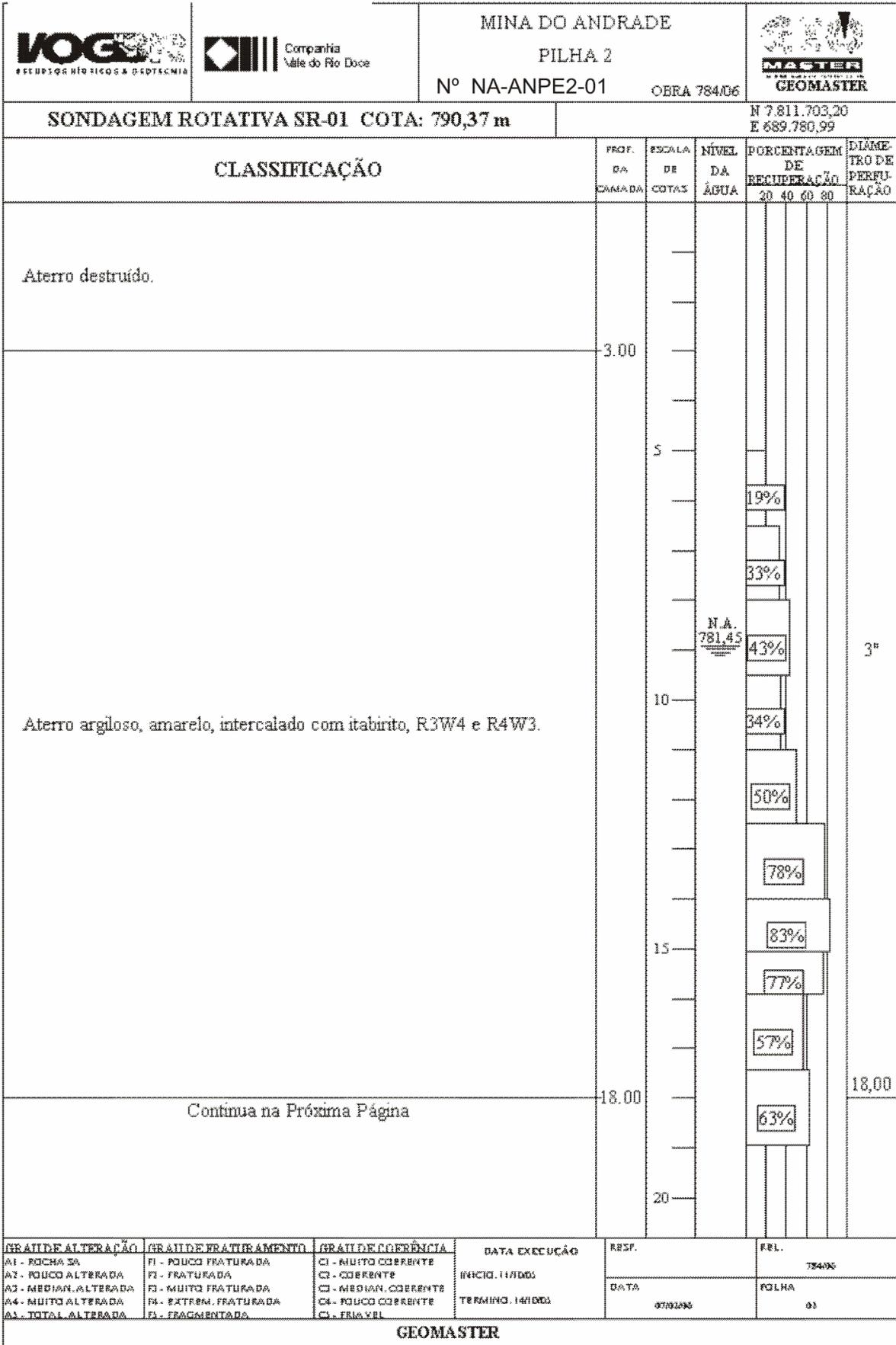
B.2. Sondagens Rotativas

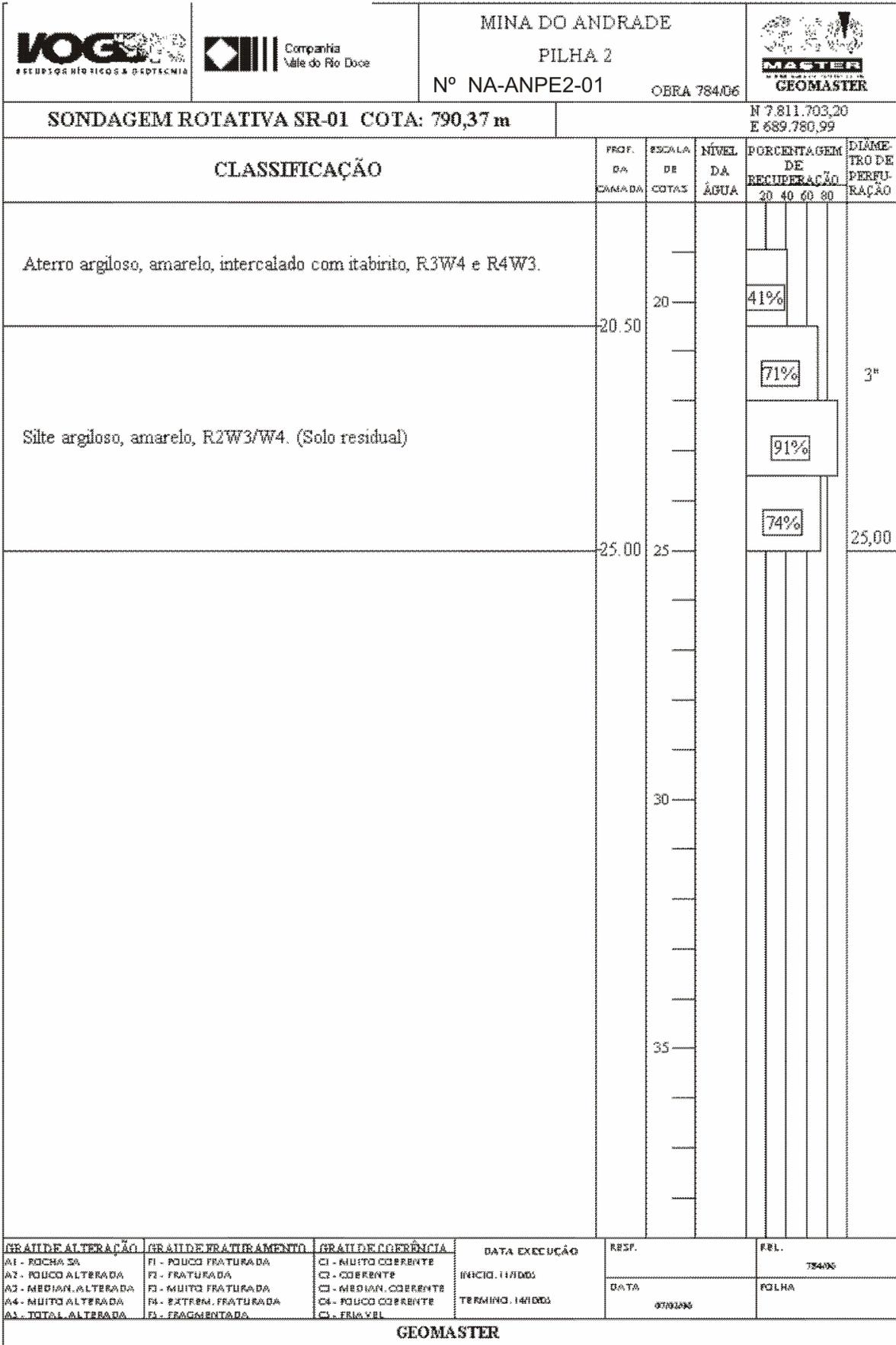
 		MINA DO ANDRADE PILHA 1 Nº NA-ANPE1-01 OBRA 78406					
SONDAGEM ROTATIVA SR-01 COTA: 956,53 m			N 7 811.234,83 E 689.265,82				
CLASSIFICAÇÃO			PROF. DA CAMADA	ESCALA DE COTAS	NÍVEL DA ÁGUA	PORCENTAGEM DE RECUPERAÇÃO 20 40 60 80	DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO
Areia muito fina, siltosa, ferruginosa. (Aterro)				5			
Bloco de itabirito, R5W2.			8.00			56%	
Silte arenoso (areia muito fina), ferruginoso, R1W5. (Aterro)			9.20	10		77%	3"
Bloco de itabirito, R5W2.			11.70			63%	
Bloco de itabirito, R5W2.			12.77			38%	
Silte arenoso (areia muito fina), ferruginoso, R5W2 de até 15 cm. (Aterro)				15		62%	
Silte arenoso (areia muito fina), ferruginoso, R5W2 de até 15 cm. (Aterro)						28%	
Silte arenoso (areia muito fina), ferruginoso, R5W2 de até 15 cm. (Aterro)						31%	
Silte arenoso (areia muito fina), ferruginoso, R1W5. (Aterro)			17.05			64%	
Silte arenoso (areia muito fina), ferruginoso, R1W5. (Aterro)				15		13%	
Silte arenoso (areia muito fina), ferruginoso, R1W5. (Aterro)						31%	
Silte arenoso (areia muito fina), ferruginoso, R1W5. (Aterro)						40%	
Silte arenoso (areia muito fina), ferruginoso, R1W5. (Aterro)			20.00	20		68%	20,00
Continua na Próxima Página			20.00	20		68%	20,00
GRAU DE ALTERAÇÃO A1 - POCHA SA A2 - POUCO ALTERADA A3 - MEDIAN ALTERADA A4 - MUITO ALTERADA A5 - TOTAL ALTERADA	GRAU DE FRATURAMENTO F1 - POUCO FRATURADA F2 - FRATURADA F3 - MUITO FRATURADA F4 - EXTREM. FRATURADA F5 - FRAGMENTADA	GRAU DE COERÊNCIA C1 - MUITO COERENTE C2 - COERENTE C3 - MEDIAN COERENTE C4 - POUCO COERENTE C5 - FRIOVEL	DATA EXECUÇÃO INÍCIO: 25/10/05 TÉRMINO: 01/11/05	RESP. DATA 08/02/06	FOLHA 01	78406	
GEOMASTER							

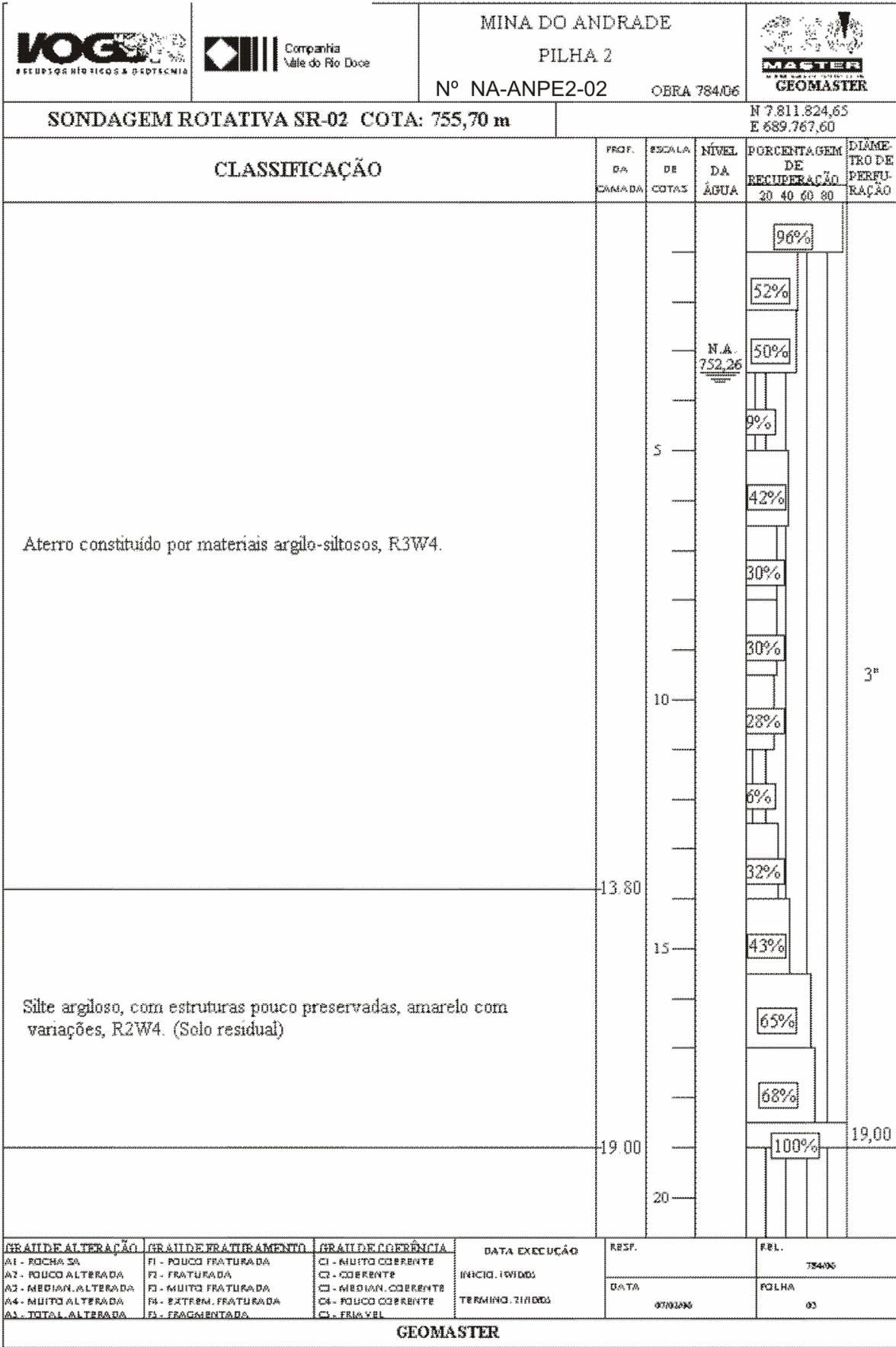
				MINA DO ANDRADE PILHA 1 Nº NA-ANPE1-01 OBRA 784/06				
SONDAGEM ROTATIVA SR-01 COTA: 956,53 m				N 7 811.234,83 E 689.265,82				
CLASSIFICAÇÃO				PROF. DA CAMADA	ESCALA DE COTAS	NÍVEL DA ÁGUA	PORCENTAGEM DE RECUPERAÇÃO	DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO
Silte arenoso (areia muito fina), ferruginoso, R1W5. (Aterro)				24.90	25	N.A. 930,73	78% 97% 90%	3"
Argila silto-arenosa, vermelha, R1W5. (Aterro)				31.00	30	68% 66% 89%		
Silte argiloso, com estruturas pouco preservadas, R2W4. (Solo residual)				35.00	35	72% 98% 83%		
				40	35,00	100%		
GRAU DE ALTERAÇÃO A1 - ROCHA SA A2 - POUCA ALTERADA A3 - MEDIAN. ALTERADA A4 - MUITO ALTERADA A5 - TOTAL ALTERADA	GRAU DE FRATURAMENTO F1 - POUCA FRATURADA F2 - FRATURADA F3 - MUITO FRATURADA F4 - EXTERN. FRATURADA F5 - FRAGMENTADA	GRAU DE COERÊNCIA C1 - MUITO COERENTE C2 - COERENTE C3 - MEDIAN. COERENTE C4 - POUCO COERENTE C5 - FRIÁVEL	DATA EXECUÇÃO INÍCIO: 15/10/05 TÉRMINO: 21/11/05	RESP. DATA 05/02/06	FRL. T54/05 FOLHA			
GEOMASTER								

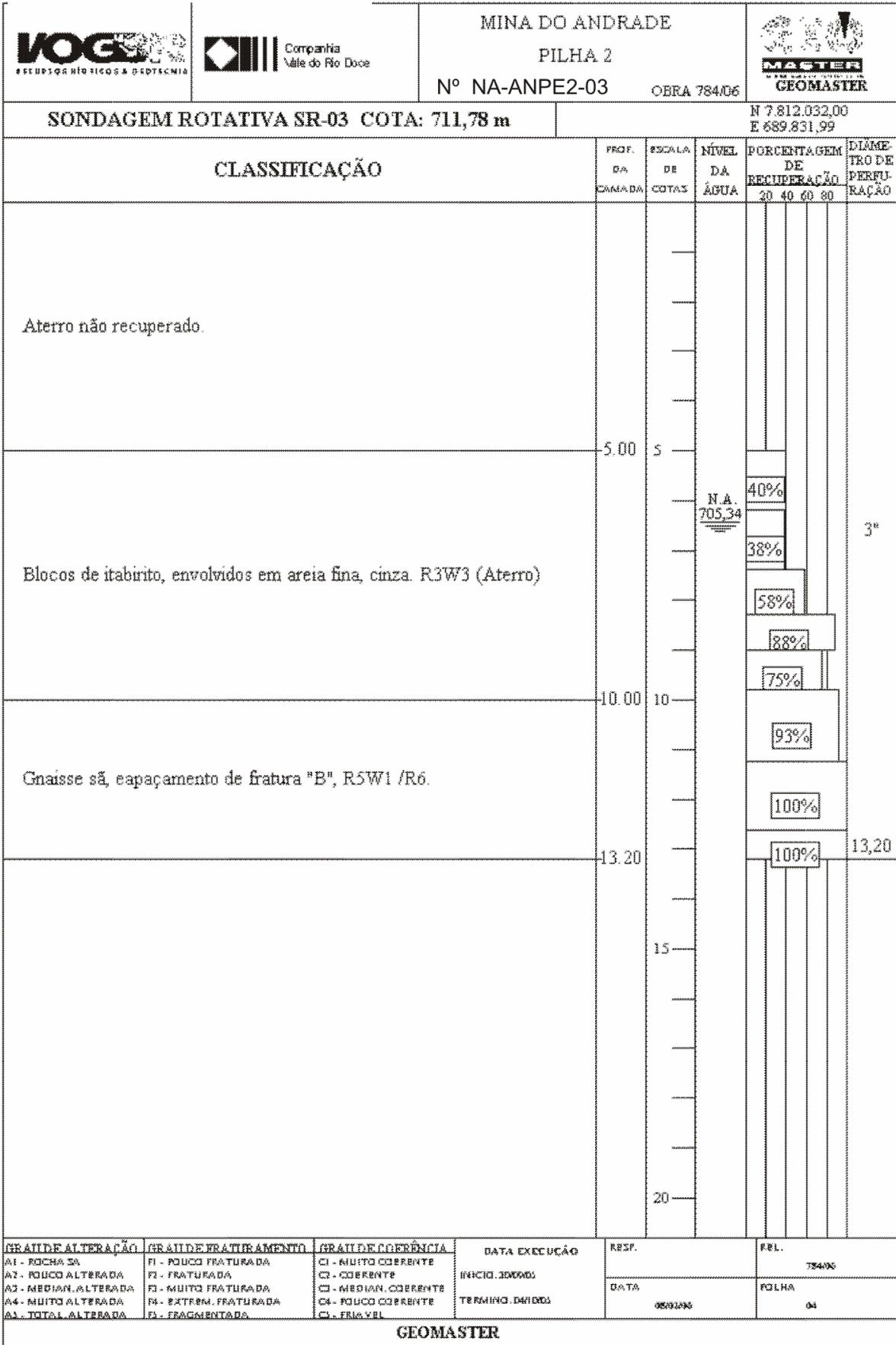


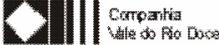
 		MINA DO ANDRADE PILHA 1 Nº PZ-ANPE1-01 OBRA 784/06							
SONDAGEM ROTATIVA SR-02 COTA: 923,87 m				N 7 811.292,32 E 689.298,34					
CLASSIFICAÇÃO				PROF. DA CAMADA	ESCALA DE COTAS	NÍVEL DA ÁGUA	PORCENTAGEM DE RECUPERAÇÃO	DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO	
Silte argiloso, com estruturas em placas pouco preservadas, R1W5. (Solo residual)				25,00	25		89%	3"	
							98%		
							92%	25,00	
							100%		
					30				
					35				
					40				
GRADU DE ALTERAÇÃO A1 - ROCHA SA A2 - POUCA ALTERADA A3 - MEDIAN. ALTERADA A4 - MUITO ALTERADA A5 - TOTAL ALTERADA		GRADU DE FRATURAMENTO F1 - POUCA FRATURADA F2 - FRATURADA F3 - MUITO FRATURADA F4 - EXTERN. FRATURADA F5 - FRAGMENTADA		GRADU DE COERÊNCIA C1 - MUITO COERENTE C2 - COERENTE C3 - MEDIAN. COERENTE C4 - POUCO COERENTE C5 - FRIÁVEL		DATA EXECUÇÃO INICIO: 04/11/06 TERMINO: 10/11/06		RESP. DATA 05/02/06	FRL. T54/06 POLHA
GEOMASTER									

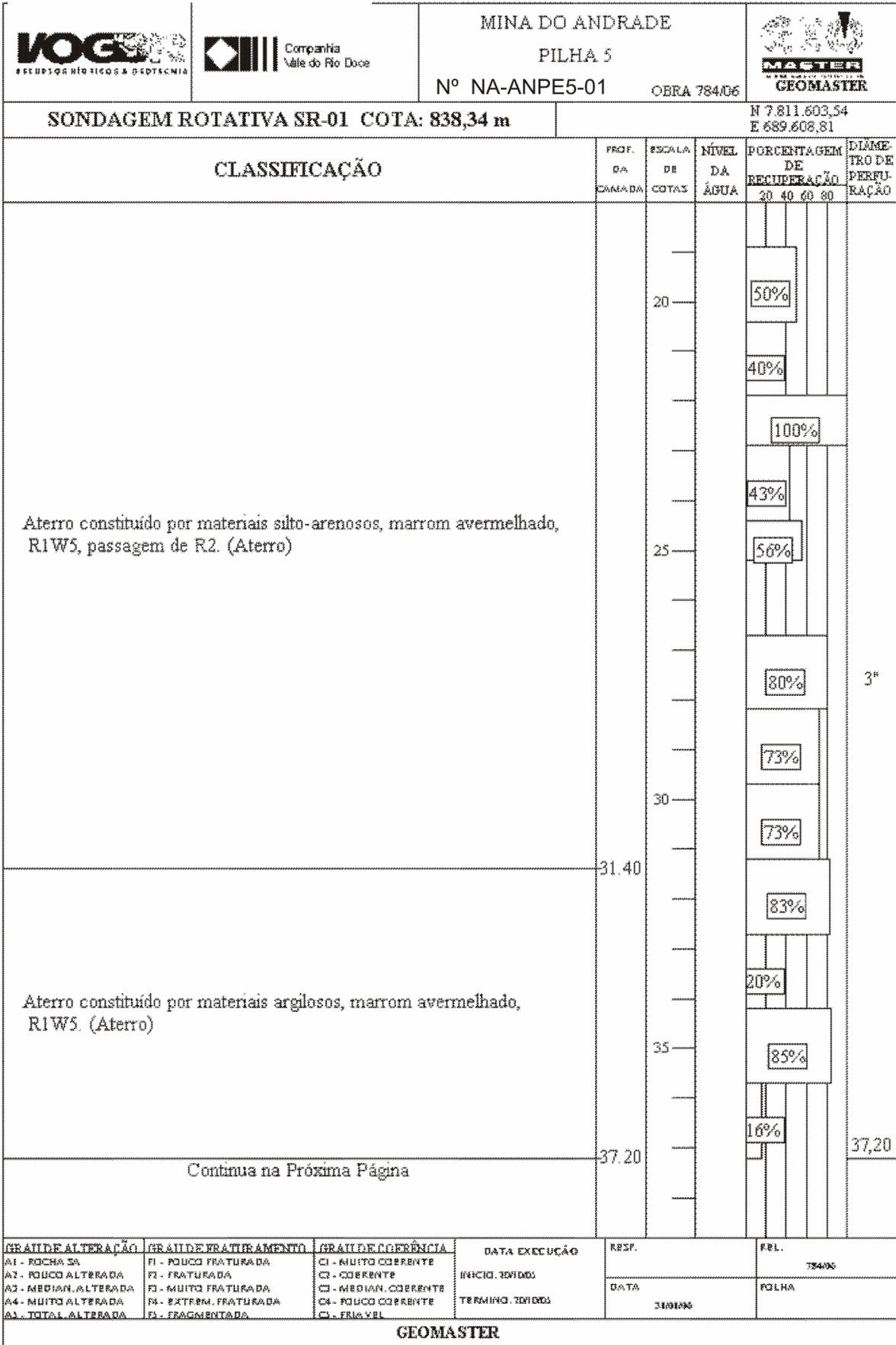


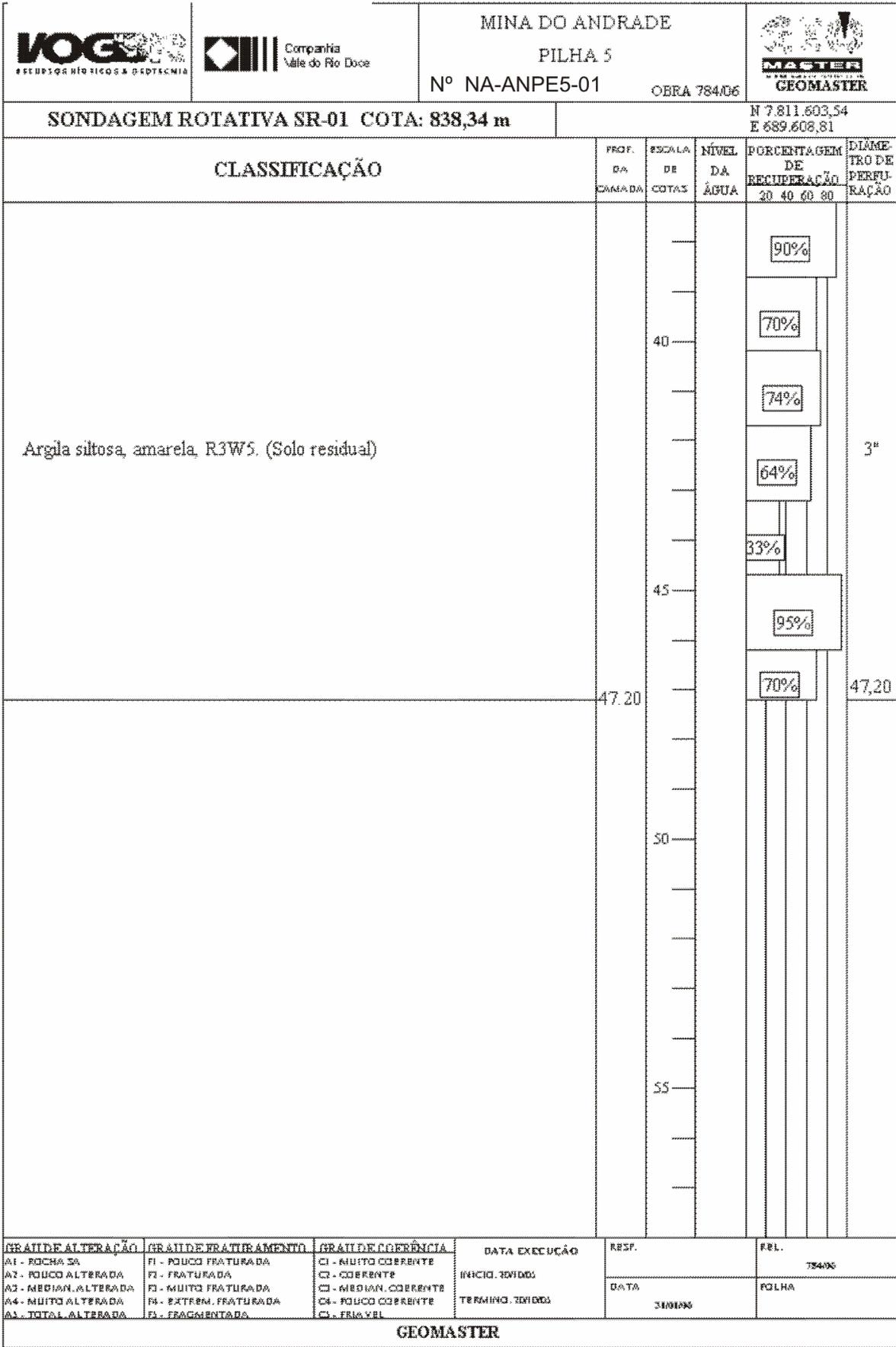






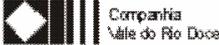
				MINA DO ANDRADE PILHA 5 Nº NA-ANPE5-01 OBRA 784/06					
SONDAGEM ROTATIVA SR-01 COTA: 838,34 m				N 7 811.603,54 E 689.608,81					
CLASSIFICAÇÃO				PROF. DA CAMADA	ESCALA DE COTAS	NÍVEL DA ÁGUA	PORCENTAGEM DE RECUPERAÇÃO 20 40 60 80	DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO	
Aterro destruído.									
Aterro constituído por materiais siltosos, ferruginosos, R1W5.				8.00			75%	3"	
Aterro destruído.				8.60					
Bloco de itabirito, R4W2.				10.10 10.40	10		36% 20%		
Aterro constituído por materiais silto-arenosos, marrom avermelhado, R1W5, passagem de R2. (Aterro)							42% 33%		
Continua na Próxima Página				18.00			10% 33%	18,00	
N.A. 822.71									
GRAU DE ALTERAÇÃO A1 - ROCHA SA A2 - POUCO ALTERADA A3 - MEDIAN. ALTERADA A4 - MUITO ALTERADA A5 - TOTAL ALTERADA		GRAU DE FRATURAMENTO F1 - POUCO FRATURADA F2 - FRATURADA F3 - MUITO FRATURADA F4 - EXTERN. FRATURADA F5 - FRAGMENTADA		GRAU DE COERÊNCIA C1 - MUITO COERENTE C2 - COERENTE C3 - MEDIAN. COERENTE C4 - POUCO COERENTE C5 - FRIÁVEL		DATA EXECUÇÃO INÍCIO: 20/06/06 TÉRMINO: 20/06/06		RESP. FRL. TSO/06 DATA FOLHA 20/06/06 01	
GEOMASTER									

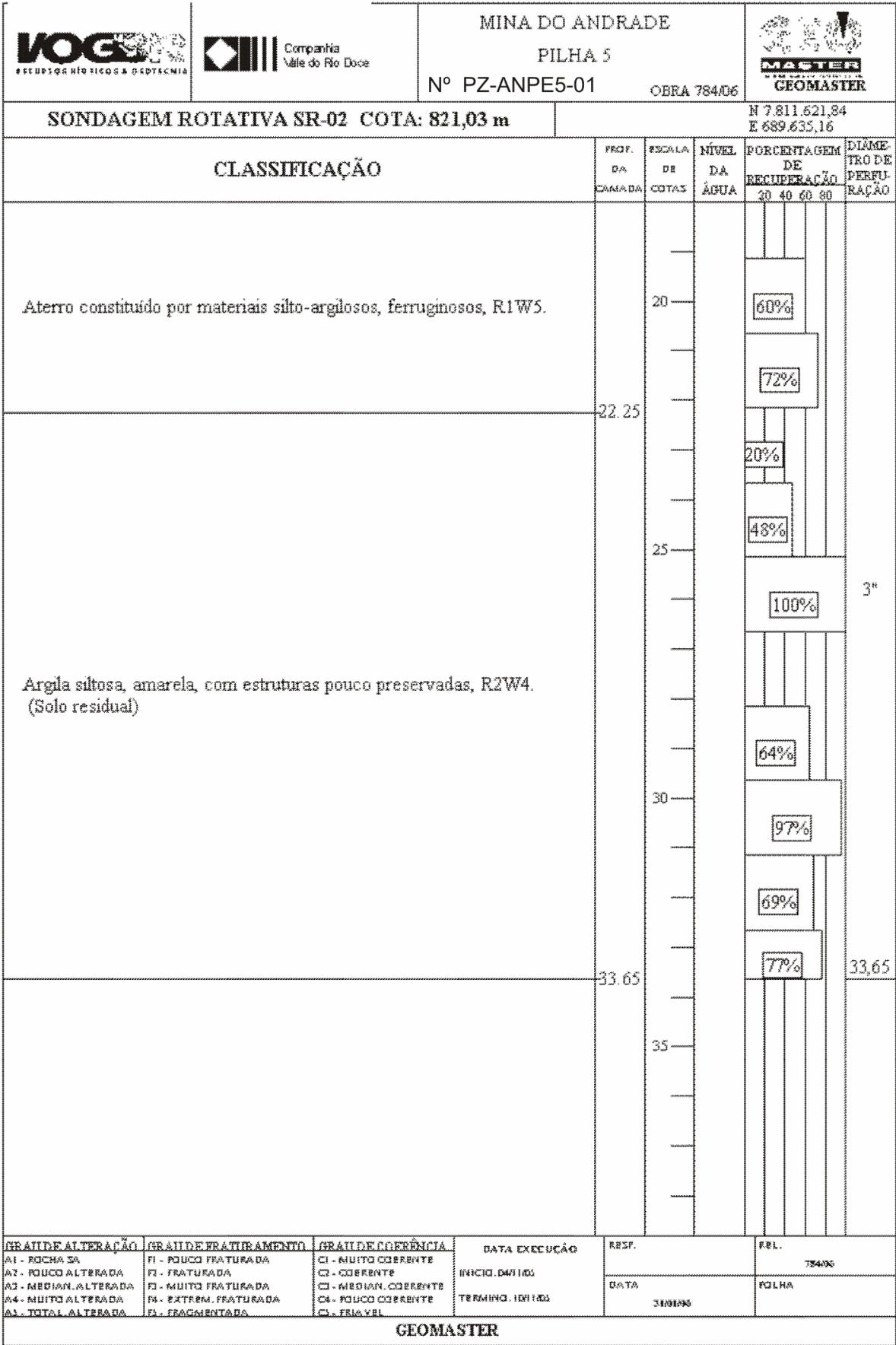


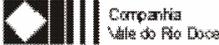


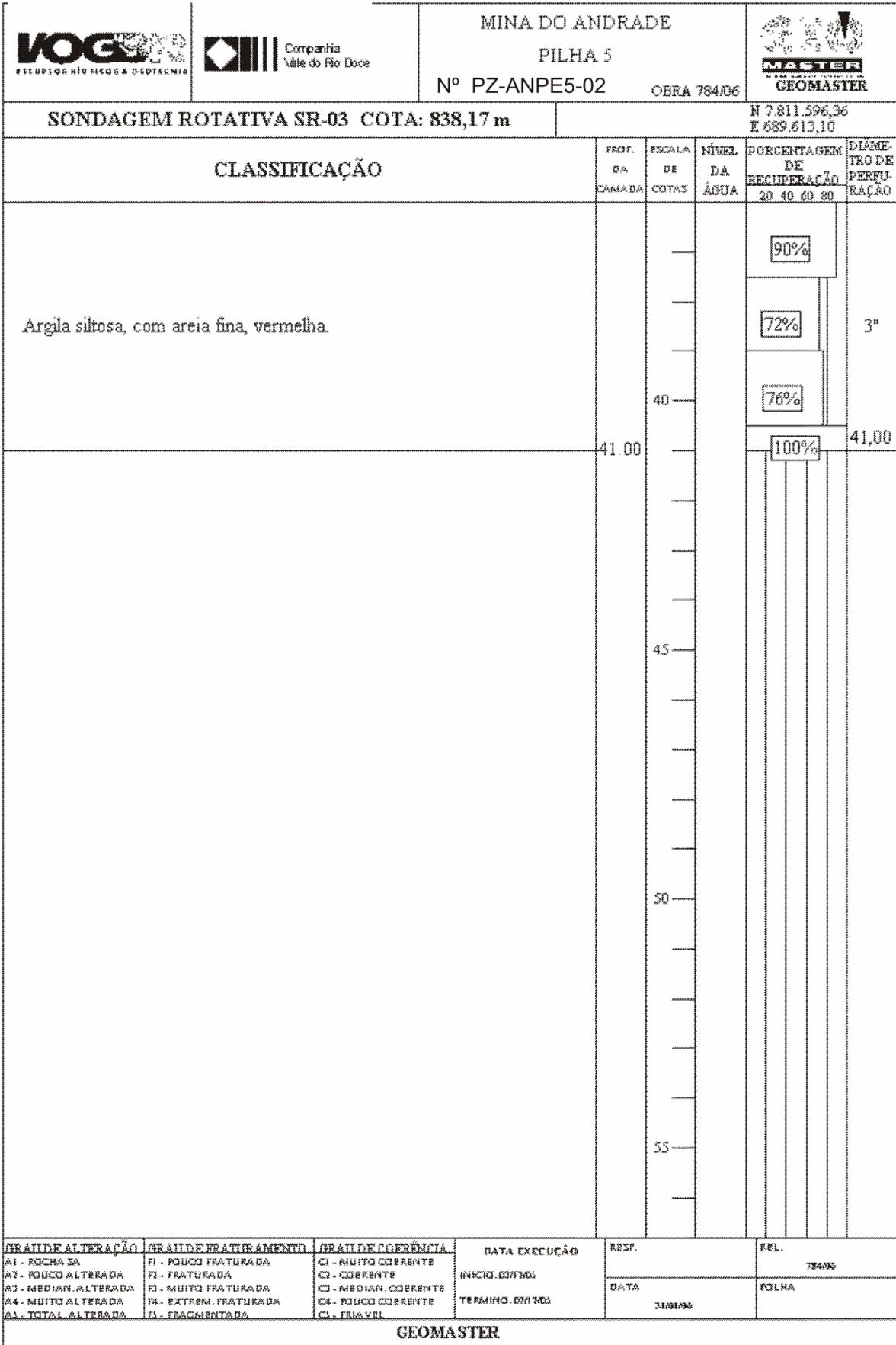
				MINA DO ANDRADE PILHA 5 Nº NA-ANPE5-02									
SONDAGEM ROTATIVA SR-04 COTA: 838,23 m						OBRA 784/06			N 7.811.601,13 E 689.610,25				
CLASSIFICAÇÃO						PROF. DA CAMADA	ESCALA DE COTAS	NÍVEL DA ÁGUA	PORCENTAGEM DE RECUPERAÇÃO		DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO		
Aterro destruído.									20	40	60	80	3"
Continua na Próxima Página						18.00							18.00
GRAU DE ALTERAÇÃO A1 - ROCHA SA A2 - POUCO ALTERADA A3 - MEDIAN. ALTERADA A4 - MUITO ALTERADA A5 - TOTAL ALTERADA		GRAU DE FRATURAMENTO F1 - POUCO FRATURADA F2 - FRATURADA F3 - MUITO FRATURADA F4 - EXTERN. FRATURADA F5 - FRAGMENTADA		GRAU DE COERÊNCIA C1 - MUITO COERENTE C2 - COERENTE C3 - MEDIAN. COERENTE C4 - POUCO COERENTE C5 - FRIÁVEL		DATA EXECUÇÃO INÍCIO: 07/2005 TÉRMINO: 12/2005		RESP. DATA: 31/01/06		FRL. T54/05 FOLHA 05			
GEOMASTER													

				MINA DO ANDRADE PILHA 5 Nº NA-ANPE5-03 OBRA 784/06				
SONDAGEM ROTATIVA SR-05 COTA: 821,53 m				N 7 811.614,19 E 689.639,97				
CLASSIFICAÇÃO				PROF. DA CAMADA	ESCALA DE COTAS 20	NÍVEL DA ÁGUA	PORCENTAGEM DE RECUPERAÇÃO 20 40 60 80	DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO
Silte argiloso, rosa. (Aterro)				21.50			76%	3"
Argila silteosa, marrom escura.				22.80			88%	
Silte argiloso, com areia fina. (Solo residual)				24.50			100%	
				25				24,50
				30				
				35				
				40				
GRAU DE ALTERAÇÃO A1 - ROCHA SA A2 - POUCO ALTERADA A3 - MEDIAN. ALTERADA A4 - MUITO ALTERADA A5 - TOTAL ALTERADA	GRAU DE FRATURAMENTO F1 - POUCO FRATURADA F2 - FRATURADA F3 - MUITO FRATURADA F4 - EXTERN. FRATURADA F5 - FRAGMENTADA	GRAU DE COERÊNCIA C1 - MUITO COERENTE C2 - COERENTE C3 - MEDIAN. COERENTE C4 - POUCO COERENTE C5 - FRIÁVEL	DATA EXECUÇÃO INÍCIO: 04/12/05 TÉRMINO: 04/12/05	RESP. DATA 31/01/06	FRL. 754/06 FOLHA			
GEOMASTER								

 		MINA DO ANDRADE PILHA 5 Nº PZ-ANPE5-01									
SONDAGEM ROTATIVA SR-02 COTA: 821,03 m		OBRA 784/06		N 7 811.621,84 E 689.635,16							
CLASSIFICAÇÃO			PROF. DA CAMADA	ESCALA DE COTAS	NÍVEL DA ÁGUA	PORCENTAGEM DE RECUPERAÇÃO 20 40 60 80	DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO				
Aterro destruído.					N.A. 819,59		3"				
Blocos de itabirito, R5W1. (Aterro)			13.00			40%					
Aterro constituído por materiais silto-argilosos, ferruginosos, R1W5.			16.15			6%					
Aterro constituído por materiais silto-argilosos, ferruginosos, R1W5.			18.00			55%	18,00				
Continua na Próxima Página			18.00			80%					
GRAU DE ALTERAÇÃO A1 - ROCHA SA A2 - POUCO ALTERADA A3 - MEDIAN. ALTERADA A4 - MUITO ALTERADA A5 - TOTAL ALTERADA		GRAU DE FRATURAMENTO F1 - POUCO FRATURADA F2 - FRATURADA F3 - MUITO FRATURADA F4 - EXTERN. FRATURADA F5 - FRAGMENTADA		GRAU DE COERÊNCIA C1 - MUITO COERENTE C2 - COERENTE C3 - MEDIAN. COERENTE C4 - POUCO COERENTE C5 - FRIÁVEL		DATA EXECUÇÃO INÍCIO: 04/11/05 TÉRMINO: 10/11/05		RESP. DATA: 31/01/06		FRL. 784/06 FOLHA 03	
GEOMASTER											



				MINA DO ANDRADE PILHA 5 Nº NA-ANPE5-02 OBRA 784/06				
SONDAGEM ROTATIVA SR-03 COTA: 838,17 m				N 7 811.596,36 E 689.613,10				
CLASSIFICAÇÃO				PROF. DA CAMADA	ESCALA DE COTAS	NÍVEL DA ÁGUA	PORCENTAGEM DE RECUPERAÇÃO 20 40 60 80	DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO
Aterro destruído.								3"
Argila silto-arenosa, marrom escura.				30.70			82%	
Argila siltoosa, com areia fina, vermelha.				31.90			66%	
Continua na Próxima Página				36.00			48%	
							100%	36,00
GRAU DE ALTERAÇÃO A1 - ROCHA SA A2 - POUCA ALTERADA A3 - MEDIAN. ALTERADA A4 - MUITO ALTERADA A5 - TOTAL ALTERADA	GRAU DE FRATURAMENTO F1 - POUCO FRATURADA F2 - FRATURADA F3 - MUITO FRATURADA F4 - EXTERN. FRATURADA F5 - FRAGMENTADA	GRAU DE COERÊNCIA C1 - MUITO COERENTE C2 - COERENTE C3 - MEDIAN. COERENTE C4 - POUCO COERENTE C5 - FRIÁVEL	DATA EXECUÇÃO INÍCIO: 09/2005 TÉRMINO: 09/2005	RESP. DATA 31/09/06	FRL. T54006 POLHA			
GEOMASTER								



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0421298/CA