

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.

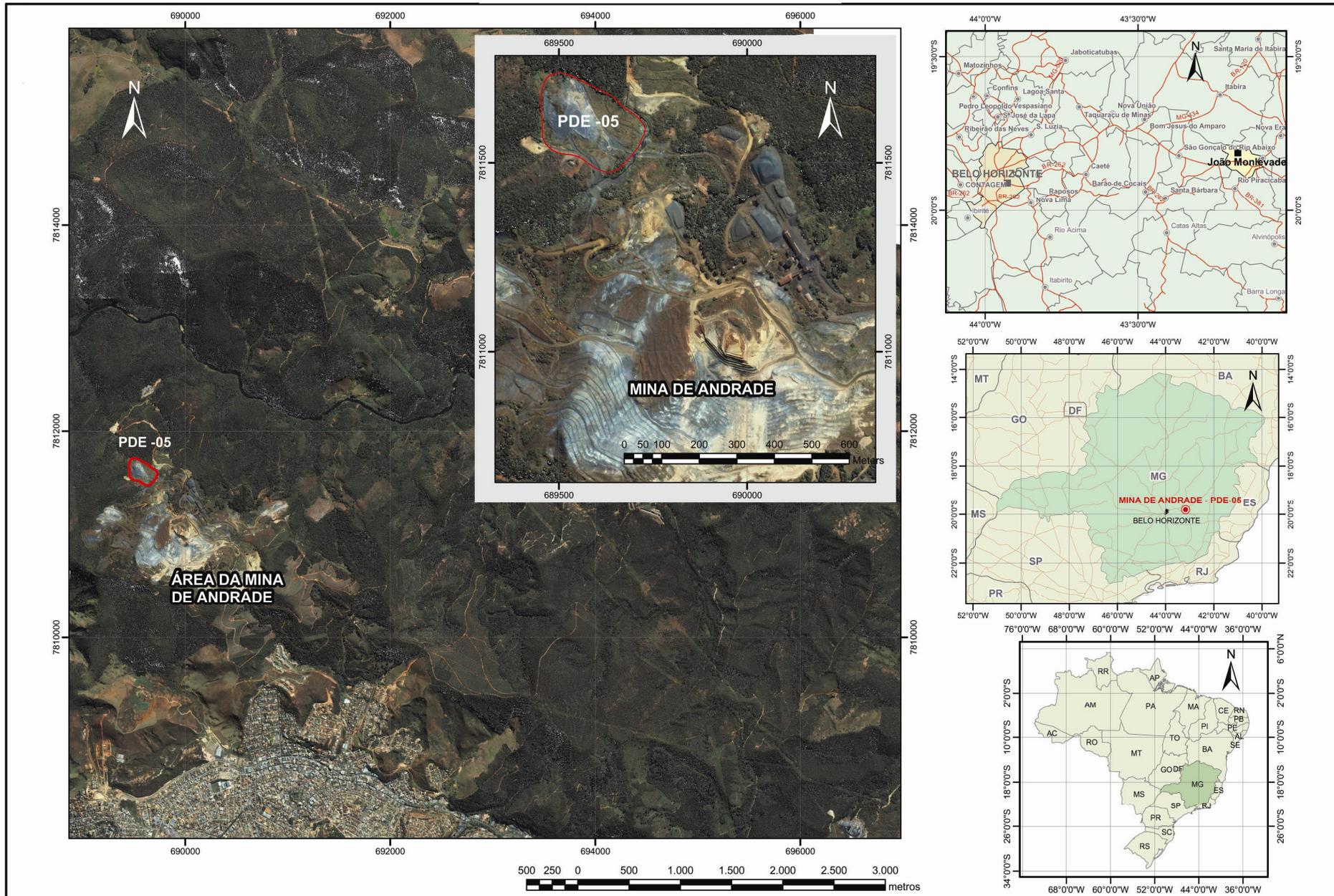


Figura 3 - Localização da área em estudo.

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.

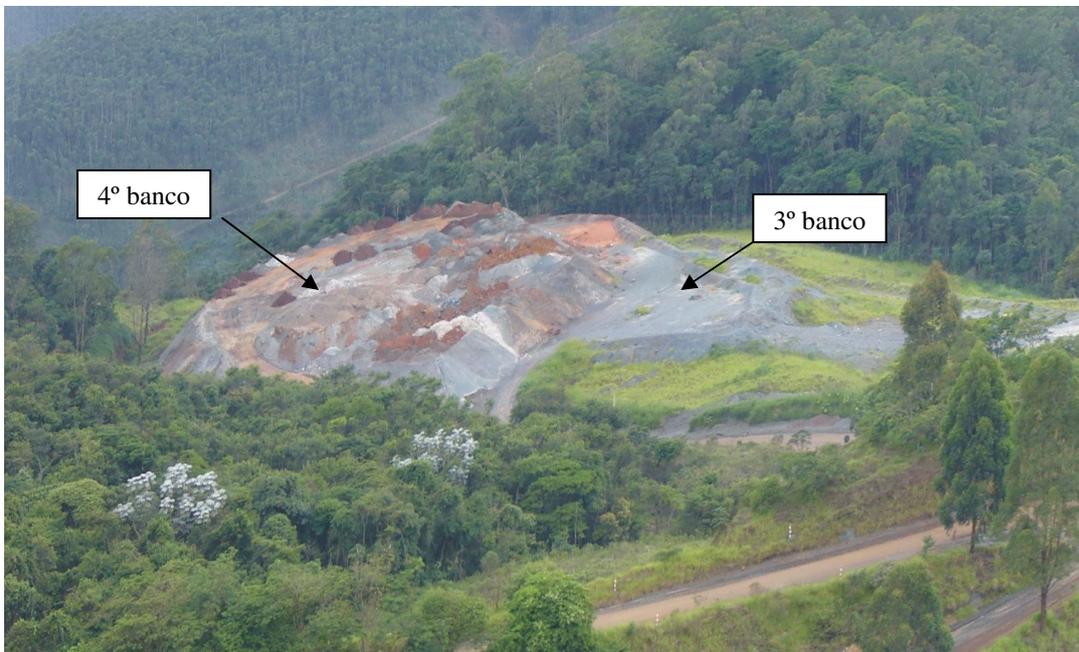


Figura 4 - Vista lateral do 3º e 4º banco da PDE-05 apresentando material depositado recentemente.

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.

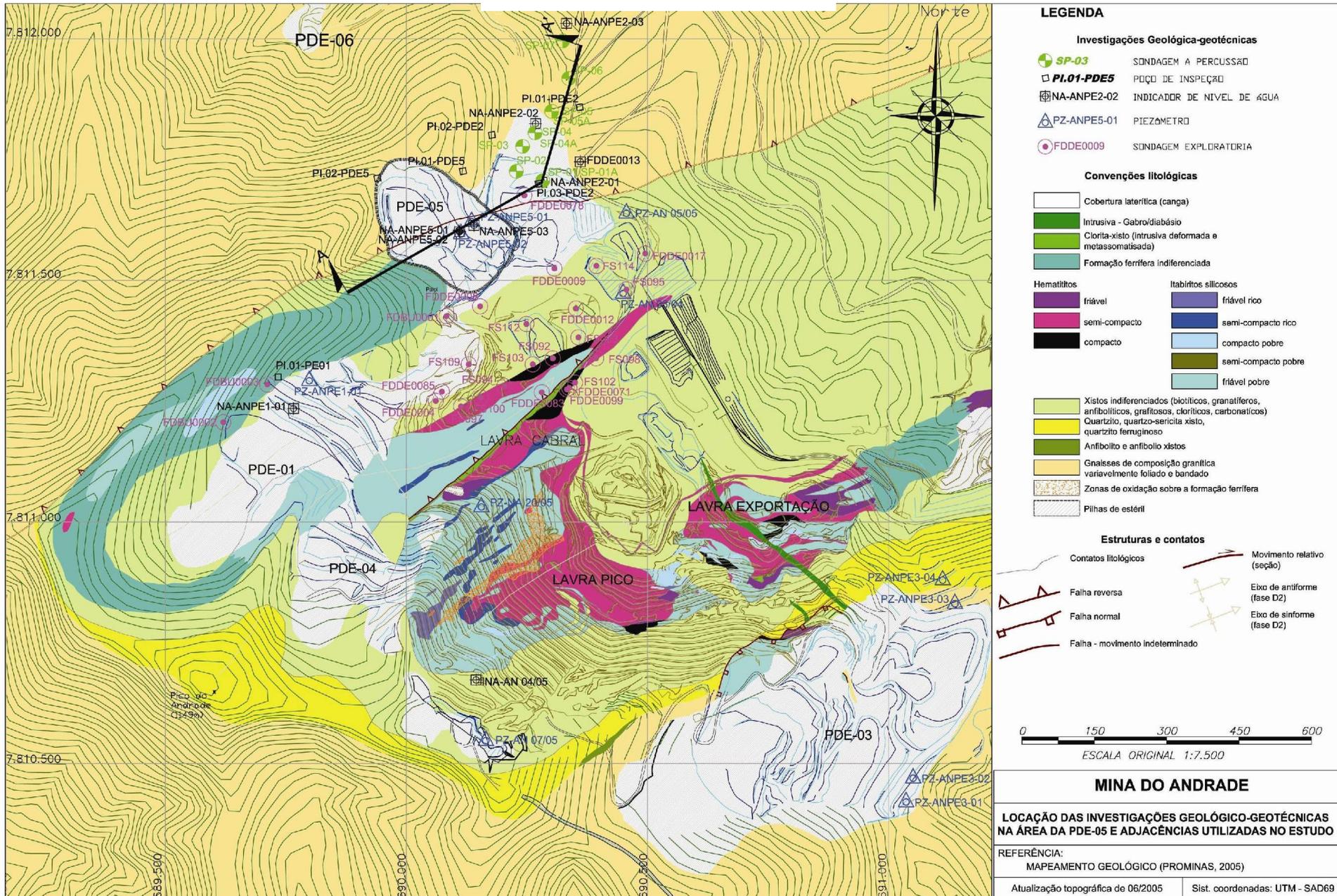


Figura 5 - Mapa geológico local da mina do Andrade (PROMINAS,2005) e locação das investigações geotécnicas utilizadas no estudo.

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).

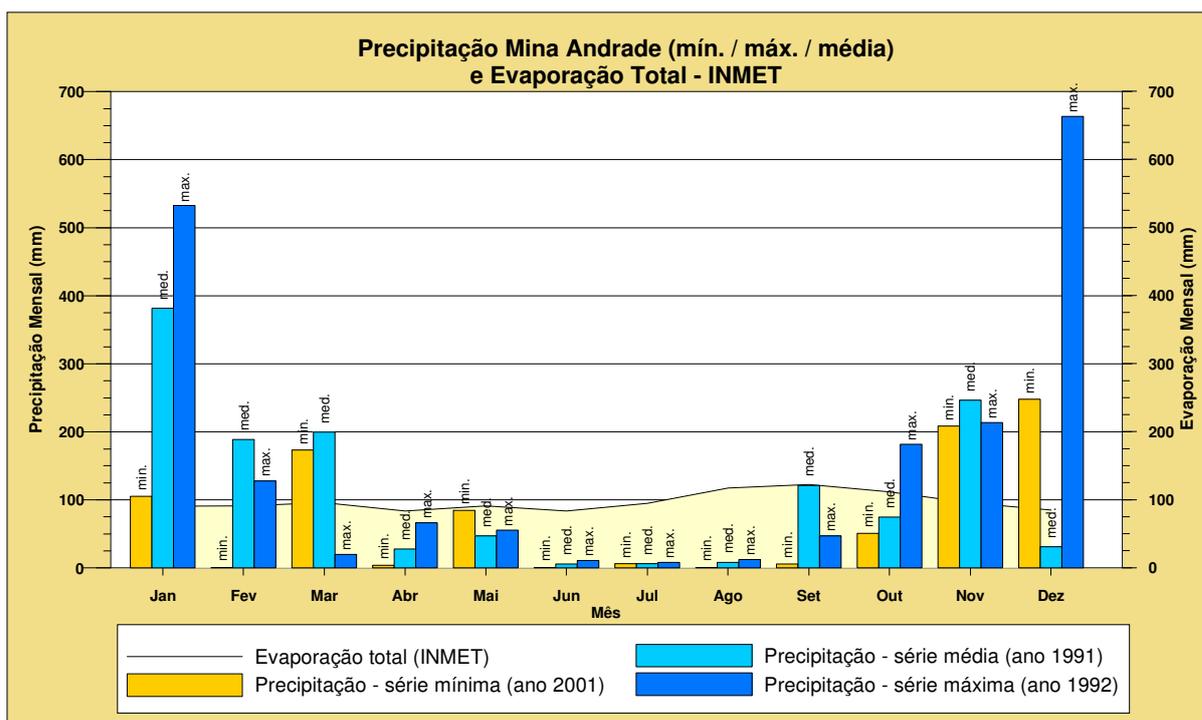


Figura 6 – Evaporação total mensal média (ponderação estação Belo Horizonte e Caratinga) e precipitações mensais médias (Estação Mina do Andrade).

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).

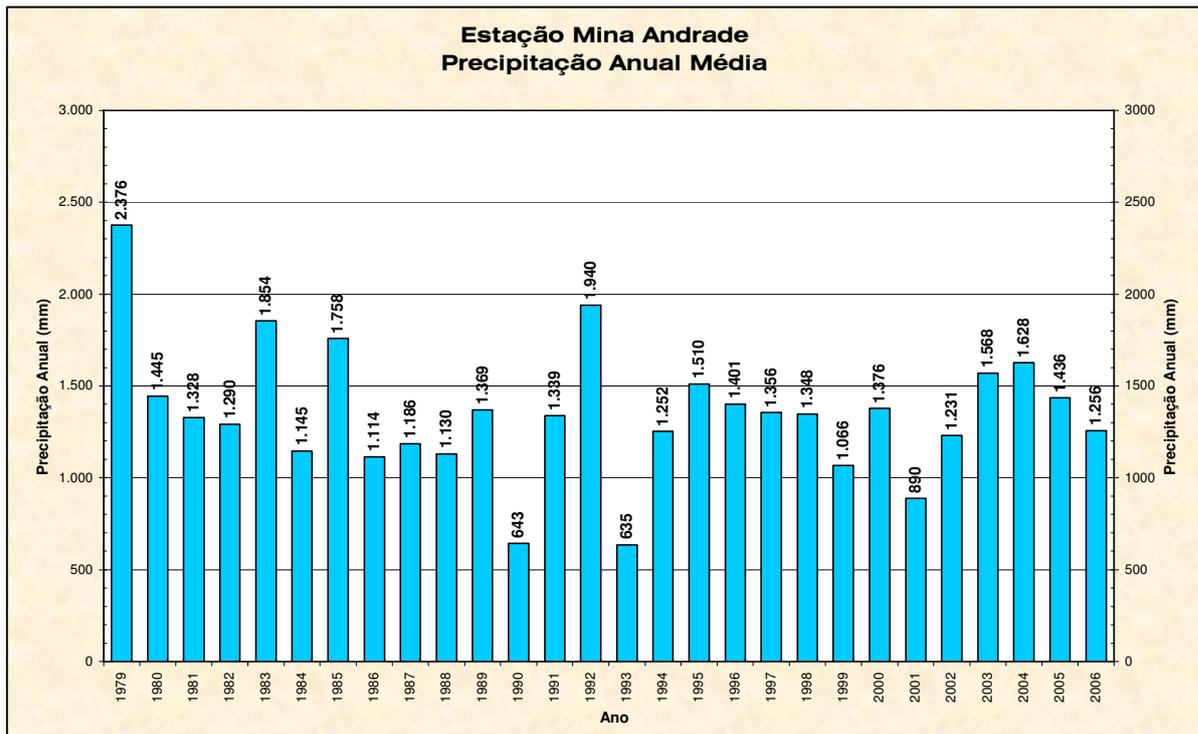


Figura 7 – Variação temporal dos totais anuais médios de precipitação obtidos na estação Mina do Andrade (1979-2006).

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).

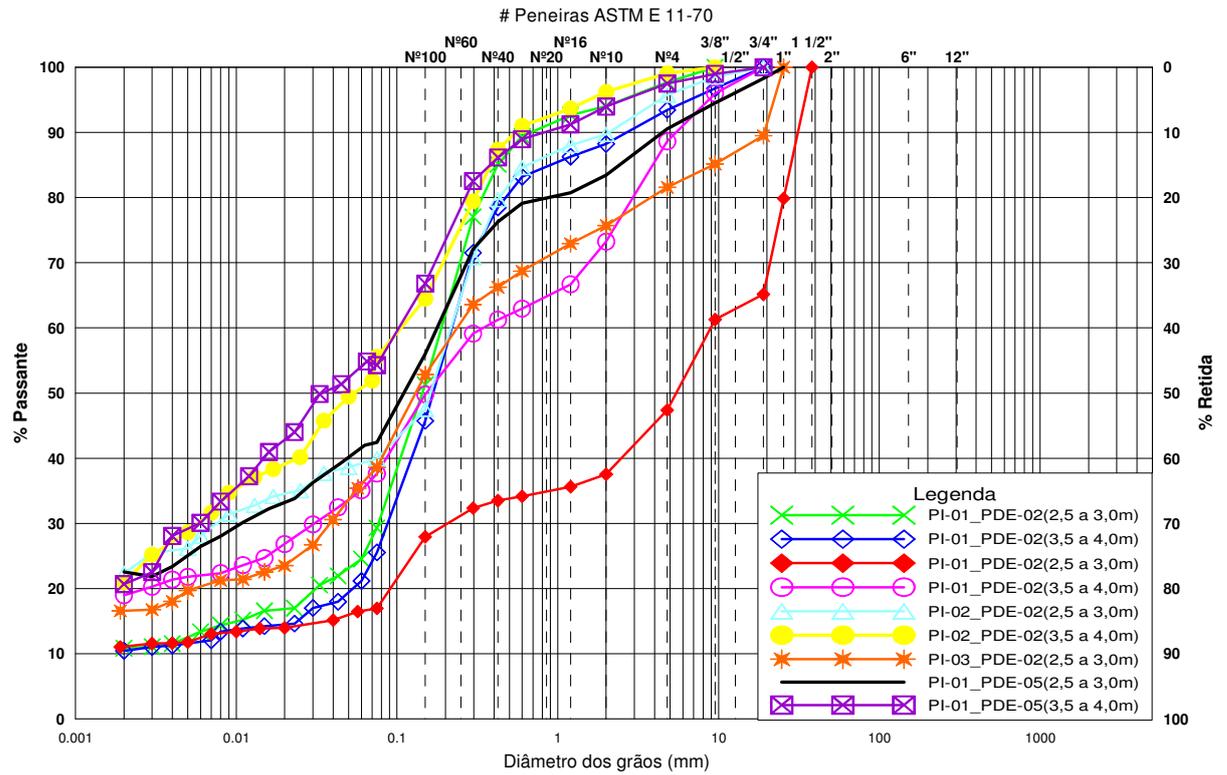


Figura 8 - Curvas granulométricas coletadas nas áreas adjacentes às pilhas de estéril (PDE-01, PDE-02 e PDE-05) da mina do Andradite (VOGEBR, 2006).