

### **3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM**

#### **3.1 Considerações Iniciais**

O material objeto de estudo deste trabalho, o filito dolomítico, de acordo com informações iniciais, fornecidas pela extinta empresa Minerações Brasileiras Reunidas S. A. – MBR, incorporada à Companhia Vale do Rio Doce - Vale, é um material presente no perfil geológico-geotécnico da maioria de suas minas, e muito provavelmente, também em boa parte das minas do Quadrilátero Ferrífero (QF) que, em função de seu comportamento peculiar, assume papel decisivo no desempenho dos taludes onde ele ocorre.

Para o presente trabalho foram utilizados oito blocos indeformados de materiais caracterizados como filito dolomítico pela MBR, da seguinte forma:

- quatro retirados da Mina do Pico, localizada em Itabirito/MG; e
- quatro blocos da Mina Capitão do Mato, localizada em Nova Lima/MG.

O registro fotográfico apresentado nas Fotos 3.1 a 3.6 mostra características de cada uma dessas minas, sendo que as Fotos 3.1 e 3.2 referem-se à Mina do Pico e as Fotos 3.3 a 3.6 referem-se à Mina Capitão do Mato.

Segundo Viel (1985), o filito dolomítico pode ser definido como um material de transição entre a deposição mecânica e a química, apresentando baixa resistência à erosão. Quando muito alterado é constituído por lentes de material argiloso e lentes de areia. Devido ao seu comportamento característico e diferenciado, sua presença tem sido freqüentemente relacionada a ocorrências de rupturas.



**Foto 3.1** - Taludes em filitos dolomíticos na parede Leste da Mina do Pico (24 /08/2007).



**Foto 3.2** - Vista geral da Mina do Pico (24 /08/2007).



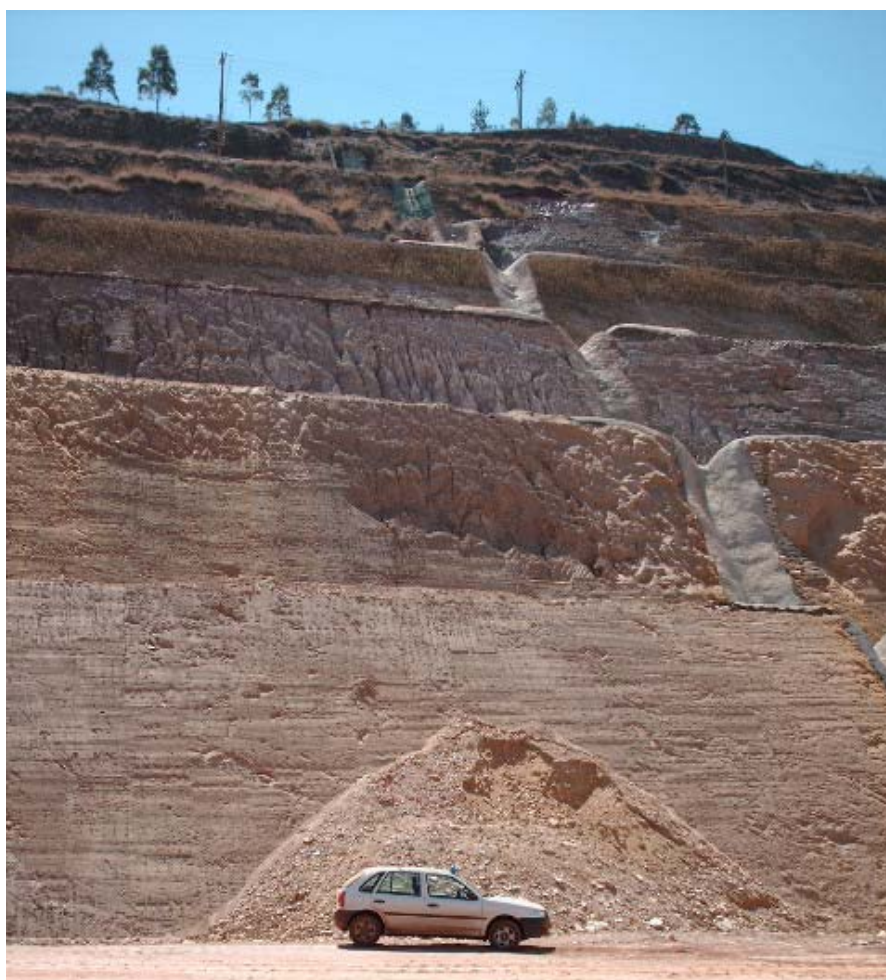
**Foto 3.3 -** Vista geral da Mina Capitão do Mato (24 /08/2007).



**Foto 3.4 -** Execução de descida de água, em talude de filito dolomítico, na Mina Capitão do Mato (24 /08/2007).



**Foto 3.5 -** Conformação de face de talude em quartzito na Mina Capitão do Mato (24 /08/2007). Destaque para a heterogeneidade do maciço.



**Foto 3.6 -** Vista geral das bancadas na Mina Capitão do Mato. Detalhe para as características de erodibilidade do material (24 /08/2007).

### 3.2 Localização

A região denominada “Quadrilátero Ferrífero” (QF), no Estado de Minas Gerais, Brasil, apresentada na Figura 3.1, tem uma área definida como um polígono de aproximadamente 7.000km<sup>2</sup>, cortada pelos rios das Velhas e Paraopeba. Fazem parte de seus limites as cidades de Belo Horizonte, Casa Branca, Congonhas, Itabira, Ouro Preto, Mariana, Piedade de Paraopeba, Rio Piracicaba e Serra Azul, dentre outras. Possui um dos maiores sítios minerais do mundo, com significativas reservas de minérios de ferro e outros bens minerais como ouro, calcário, bauxita, manganês etc. Um grande número de empresas de mineração está instalado nessa região e a otimização de projetos geotécnicos de taludes com maiores inclinações e alturas finais que atinjam algumas centenas de metros faz parte de uma busca contínua e sistemática em suas cavas.

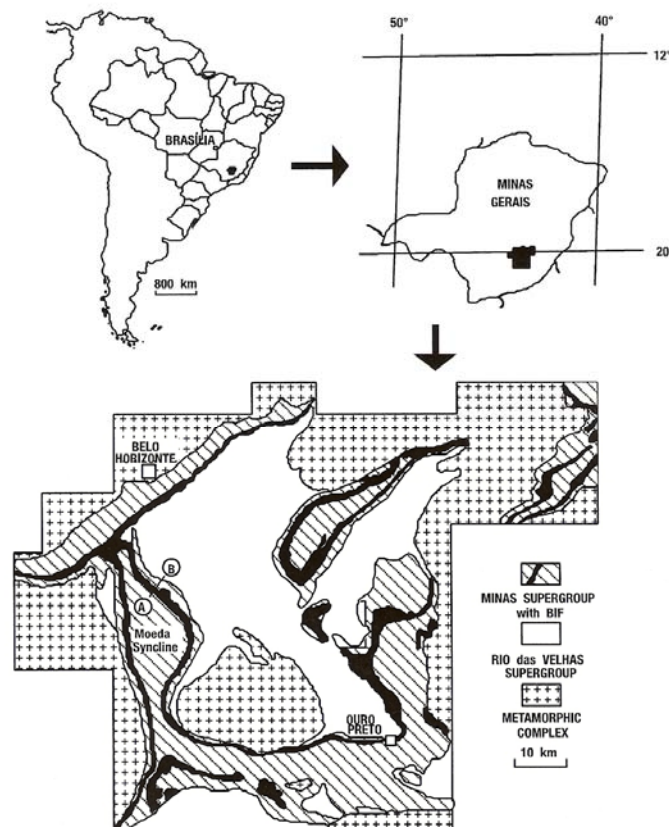


Figura 3.1 - Localização do Quadrilátero Ferrífero (MARSHAK e ALKMIM, 1989).

Em função de sua destacada importância na produção mineral brasileira, o QF foi e tem sido objeto de vários estudos, principalmente na década de 1960 em que inúmeros mapeamentos foram realizados na escala 1:25.000, executados por meio de convênio do Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM) e o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) (SIMÕES, 2006).

O Quadro 3.1, a seguir, apresenta os minerais em relação aos quais o Brasil possui uma posição de destaque no contexto internacional.

**Quadro 3.1 -** Posição brasileira nas reservas mundiais

POSIÇÃO	MINERAL	PARTICIPAÇÃO %
1 <sup>o</sup>	Nióbio	90,0
	Tantalita	45,2
2 <sup>o</sup>	Caulim	28,2
	Grafita	21,0
3 <sup>o</sup>	Alumínio	7,8
	Talco	19,0
	Vermiculita	8,1
4 <sup>o</sup>	Estanho	6,8
	Magnesita	5,2
5 <sup>o</sup>	Ferro	6,5
	Manganês	1,0

Fonte: DNPM (1999).

### 3.3 Clima e Vegetação

O clima da região pode ser descrito como tropical de altitude, classificado pelo método de Köppen como CWb (clima mesotérmico, com verões brandos e estação seca de outono-inverno). As temperaturas anuais médias encontram-se entre 17°C e 21°C e a umidade do ar oscila entre 75% e 85%, com registros pluviométricos anuais inseridos entre 1.500mm e 1.700mm.

Dois tipos principais de vegetação nativa ocorrem na região: campo e cerrado do tipo savânico. Os campos constituem a savana propriamente dita e o cerrado constitui uma variação da savana, a savana arborizada. Arbustos típicos de cerrado, gramíneas e, nas margens dos cursos de água, a mata ciliar, compõem a vegetação predominante.

### 3.4 Histórico da Mineração no Estado de Minas Gerais

De acordo com vários autores, a história da atividade mineradora em Minas Gerais se confunde com a própria trajetória dessa atividade no Brasil. Sendo o maior produtor mineral do País, o Estado respondeu, em 1999, por 34% da produção mineral nacional.

Ressalta-se que uma característica marcante da mineração é sua natureza eminentemente heterogênea, em função dos diferentes segmentos da atividade e pela grande diversidade das empresas que exploram este setor, ou seja, desde micro empreendimentos até multinacionais. Outra peculiaridade refere-se à geração de emprego e renda por se tratar de uma atividade considerada, algumas vezes, “temporária”. De fato, como na mineração as reservas se exaurem, é de fundamental importância a sua quantificação para se considerar o comportamento das comunidades desenvolvidas com base na atividade minerária após sua exaustão.

A partir de uma breve revisão histórica da mineração brasileira constata-se que, durante o período colonial, Minas Gerais vivenciou não apenas a corrida do ouro, mas também a dos diamantes. Martins e Brito (1989) relatam que se produzia pouco ouro no Brasil até 1690. Porém, jazidas de aluvião começaram a ser descobertas na última década do século XVII, em rápida sucessão, nos córregos e ribeirões nas proximidades de Ouro Preto, Mariana, Sabará e Caeté podendo ser considerado o primeiro grande impulso minerador da história do Brasil. Machado e Figueirôa (2000) avaliam que “o clímax da mineração de ouro no Brasil, nos séculos passados, ocorreu entre 1739 a 1779, com a notória liderança de Minas Gerais. Durante o período colonial, estima-se que o Estado tenha produzido de 2/3 a 3/4 do ouro do país”.

Como em todas as atividades desenvolvidas rapidamente, sem o planejamento necessário, os casos do ouro ou dos diamantes causaram vários problemas não apenas durante o auge da produção, mas também após a exaustão dos recursos minerais. Assim, a ocupação do território pode ser considerada como o principal legado deixado pela mineração, no período colonial, em Minas Gerais. Às margens das minas, grandes cidades do período colonial prosperaram como Ouro Preto, Diamantina, Sabará e Serro. Estradas foram abertas, núcleos urbanos implantados, o território foi unificado e uma estrutura administrativa própria criada. Segundo Alves

(1998), entre 1700 e 1808, a população estimada de Minas Gerais cresceu de 30 mil para 433 mil habitantes.

Durante o Império, o volume da produção mineral brasileira foi bastante inferior ao do período colonial, porém, esta continuou concentrada em ouro e diamantes. Registre-se que seis companhias para explorar jazidas auríferas em Minas Gerais foram formadas na Inglaterra, nas décadas de 1820 e 1830, sendo que entre elas, destaca-se a St. John D'el Rey Mining Company que atravessou várias alterações patrimoniais até ser reconhecida como Mineração Morro Velho e, atualmente Anglo Gold.

Sobre o manganês, cabe ressaltar que durante todo o século XX o Brasil foi um importante exportador de manganês de alto teor, para fabricação de ferro-ligas, inicialmente em Minas Gerais, depois no Amapá. Em Conselheiro Lafaiete, a exploração de manganês do Morro da Mina, iniciou-se em 1894 (MARTINS e BRITO, 1989), sendo que a produção em larga escala somente foi atingida a partir de 1920, quando esta foi vendida à empresa siderúrgica norte-americana United States Steel. Até 1961, a Mineração Morro da Mina foi responsável por grande parte da produção brasileira de manganês, tendo sido, nessa data, superada pela mina da Serra do Navio, localizada no Amapá.

Porém, a extração de ferro foi o marco da mineração brasileira do século XX. A lavra do minério, ainda primitiva, foi impulsionada pela construção de um alto forno de pedra para a produção de ferro gusa pela firma Amaro e Gerspacher. A construção foi iniciada em 1888 e este foi o primeiro forno a ser levantado na Província de Minas depois da independência do Brasil, à margem da Estrada de Ferro Dom Pedro II, distante 4km de Itabira do Campo, atualmente a cidade de Itabirito. A inauguração ocorreu em 21 de julho de 1891, com a primeira corrida de ferro gusa. Esse forno era alimentado com minério rolado extraído das proximidades do morro conhecido como Pico de Itabira. A lavra era manual e o transporte feito em lombo de burro. Ainda naquele século, destacou-se a usina construída pelo engenheiro francês Jean de Monlevade.

De acordo com Martins e Brito (1989), os anos iniciais do século XX foram marcados pela constituição da Itabira Iron Ore Co., de capitais ingleses e organizada por Percival Farquar, que adquiriu os direitos das minas de ferro de Itabira e de participação na Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM). Os esforços empreendidos por Artur da Silva Bernardes, como Presidente do Estado de Minas Gerais e também

como Presidente da República, foram de grande importância para o desenvolvimento da siderurgia nacional, durante a década de 1920. Ressalta-se que foi nessa época que o grupo luxemburguês Arbed investiu na então Cia. Siderúrgica Mineira, cuja denominação foi alterada para Cia. Siderúrgica Belgo-Mineira.

Somente após a década de 1940 é que a produção de ferro ganhou impulso, quando os Acordos de Washington garantiram a transferência da propriedade das minas de Itabira, até então do governo inglês para o brasileiro. Com isso, ocorreu a criação da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), atualmente Vale, em 1942. Na ocasião, o País exportava apenas 31 mil toneladas de minério de ferro por ano e, dez anos mais tarde, 1,5 milhão de toneladas.

Ressalta-se que, a partir de 1960, com uma crescente abertura do capital estrangeiro ao setor de mineração brasileiro é que grandes projetos se desenvolveram, como os de ferro, com a Minerações Brasileiras Reunidas S.A. (MBR) e a S.A. Mineração da Trindade (SAMITRI), de alumínio, com a ALCOA, de nióbio, com a Companhia Brasileira de Mineração e Metalurgia (CBMM) etc.

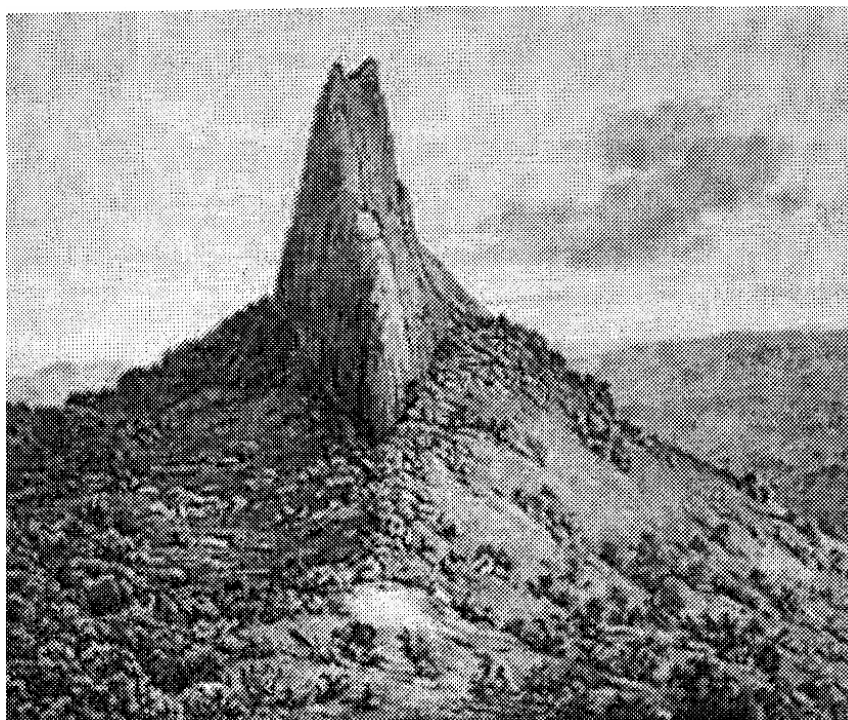
Dentre esses projetos destaca-se a reserva de minério de ferro descoberta em 1967, em Carajás, pela Vale, cujo processo de viabilização teve seu início em 1978. O Projeto Ferro Carajás começou a operar em 1985 e, em 1987, atingiu a capacidade nominal de 35 milhões de toneladas anuais. Atualmente, a produção alcançada reafirma a empresa como líder mundial de exportação de minério de ferro. Em 2007 a empresa alcançou a marca de 303 milhões de toneladas (12% a mais que a produção de 2006), para 2008 está prevista a produção de 325 milhões de toneladas e 450 milhões de toneladas para 2013. A valorização do minério de ferro tem sido crescente nos últimos anos, sendo que em fevereiro de 2008 o preço foi reajustado entre 65% e 71% em função do teor de ferro. A Vale prevê um investimento de 8,5 bilhões de dólares em Minas Gerais, segundo o Jornal Diário do Comércio e Jornal O Globo, de fevereiro de 2008.

### 3.4.1 O Pico do Itabirito

O Pico de Itabira, atualmente conhecido por Pico de Itabirito, apresentado na Figura 3.2 e na Foto 3.7, pode ser descrito como uma elevação topográfica composta por minério de ferro de alto teor (em média 67% Fe), compacto, constituído de óxidos de ferro (hematita e magnetita), de forma aproximadamente lenticular e atitude vertical, destacando-se 82m acima da paisagem atual. Localiza-se no QF próximo à cidade de Itabirito, em área cujas coordenadas UTM são N 7.761.541/E 618.330 e com 1.586m acima do nível do mar e apresenta-se como referência geográfica, histórica e econômica da região.

De fato, historicamente o Pico de Itabirito representa um importante marco dos diversos períodos de ocupação do Estado de Minas Gerais. Devido ao seu ressaltado topográfico de formato inconfundível, mencionado anteriormente, serviu inicialmente como referência geográfica aos bandeirantes na busca do ouro das Gerais. O distrito de Itabira do Campo, em função de sua emancipação a município em 1923, passou a ser chamado de Itabirito, levando este nome também ao Pico.

Em função de representar um cenário singular no contexto geológico do QF, o IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico Nacional), tombou, em 1962, este marco geológico e seu entorno como conjunto paisagístico, ver Figura 3.3, tendo o espaço histórico da ocupação mineira como justificativa central.



**Figura 3.2 -** O Pico de Itabira visto do Norte; desenho de F. J. Stephan, (ca. 1840, litografia de A. Brandmeyer (in Martius, C. Ph. F. von, 1906), apud Rosière et al. (2005).



**Foto 3.7 -** Fotografia com visão aproximadamente do mesmo ângulo (24/08/2007).



**Figura 3.3** - Fotografia aérea com vista para o norte do Pico de Itabira e cava da Mina do Pico na Serra dos Trovões/Serra das Serrinhas, Foto MBR, apud Rosière et al. (2005).

### 3.5 Aspectos Geológicos

Os depósitos de ferro na região em estudo, de acordo com Simões (2006), estão inseridos na Formação Cauê, Grupo Itabira do Supergrupo Minas e se apresentam na forma de formações ferríferas bandadas. Nesta rocha, os teores de ferro variam entre 50% e 65%.

Ressalta-se que o corpo de minério, de origem hidrotermal (minério gerado por enriquecimento da rocha ferrífera sedimentar por meio de reações e processos químicos, envolvendo fluidos quentes) (ROSIÈRE e RIOS, 2004), formou-se durante o evento termotectônico denominado Transamazônico, de idade paleoproterozóica, cerca de 2 bilhões de anos.

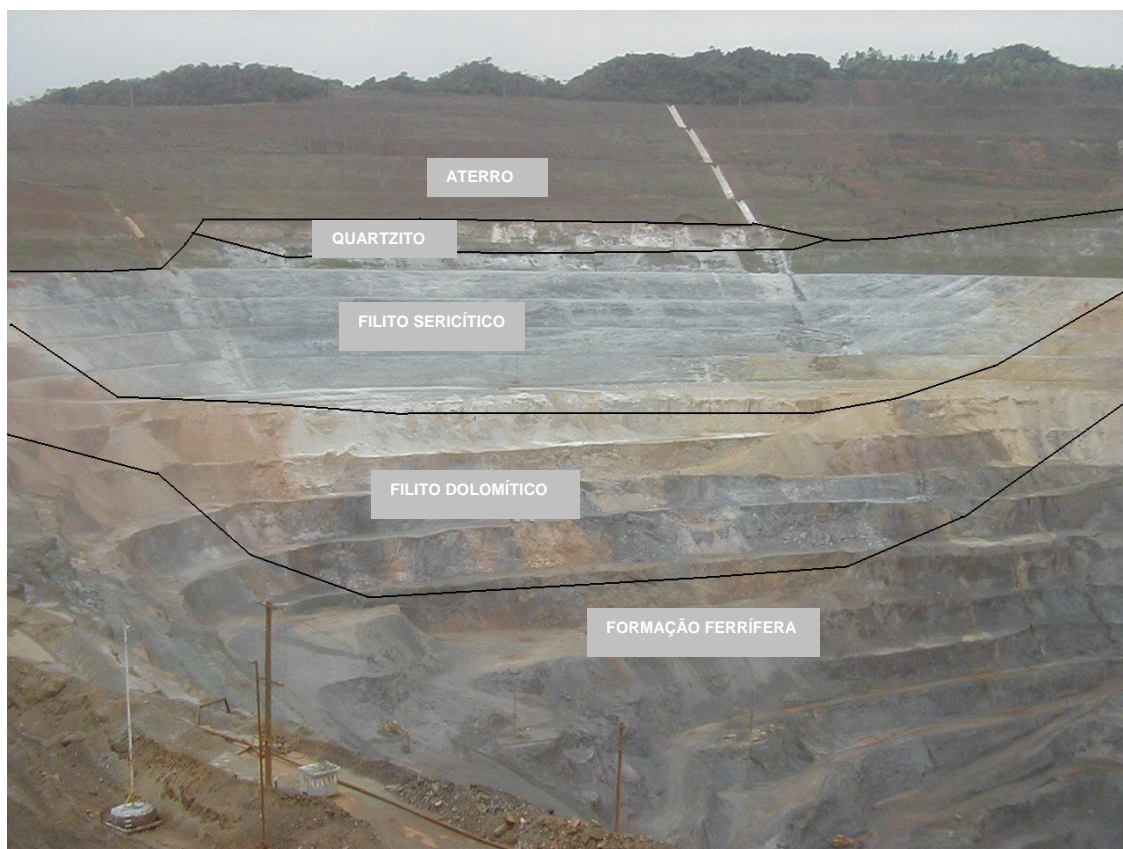
No depósito da Mina do Pico, a zona mineralizada estende-se por, aproximadamente, 1000m segundo a direção N-S e cerca de 300m de profundidade. As atividades de lavra datam, inicialmente, de 1940 e têm previsão para seu término em 2009.

A seqüência mais espessa de formações ferríferas do Supergrupo Minas, segundo Rosière et al (2005), pertence ao Grupo Itabira e compreende itabiritos, metadolomitos e metapelitos subordinados. Itabiritos são formações ferríferas bandadas metamórficas e oxidadas, constituídas principalmente de quartzo e óxidos de ferro podendo existir, ainda, anfibólios e dolomita.

A região apresenta importantes depósitos de ferro, em seqüência, denominados Pico, Galinheiro e Sapecado, sendo o Pico o mais importante. Ali são lavrados minério de alto teor, compacto e friável, além de itabiritos ricos.

Uma crosta laterítica de hidróxido de ferro (limonita e laterita), com ou sem fragmentos de minério, denominada canga desenvolveu-se cobrindo as formações ferríferas e os corpos de minério existentes.

A Foto 3.8 apresenta uma compartimentação esquemática da litologia presente na parede leste da Mina do Pico. De uma forma geral, pode ser descrita como constituída por quartzitos da Formação Moeda, filitos sericíticos e carbonáticos (dolomitos) da Formação Batatal e por hematitas da Formação Cauê.



**Foto 3.8 -** Compartimentação esquemática da parede leste da Mina do Pico (MBR/2006).

Ressalta-se que, além da marcante heterogeneidade de materiais constituintes, o controle do nível de água nessa parede faz-se fundamental para sua trabalhabilidade. Os níveis de água nos quartzitos, originalmente, encontravam-se na elevação 1350m e com o rebaixamento, por meio de poços tubulares, atualmente

apresentam-se, aproximadamente, em 1298m. Intercalados aos filitos carbonáticos encontram-se vários níveis de “chert” que se mostram como aquíferos suspensos com cotas variáveis.

Como meta para o rebaixamento tem-se para os quartzitos e o “chert” estabelecido até o final de operação da mina a cota de 1250m (SILVA, 2006).

A Foto 3.9 apresenta uma ruptura ocorrida no filito dolomítico.



**Foto 3.9** - Detalhe de ruptura no filito dolomítico da Mina do Pico (MBR/2006).

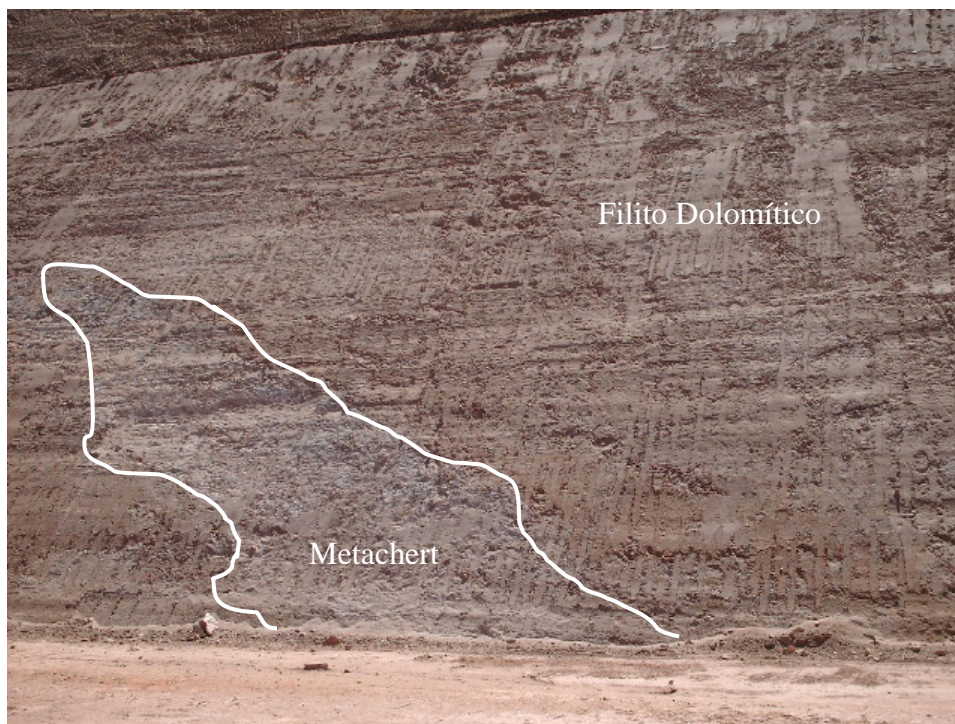
Segundo Silva (2006), do ponto de vista geomorfológico, a região é formada por vales e montanhas alinhados grosseiramente na direção NS, subparalela à direção das grandes unidades. O topo das montanhas tem cotas que variam entre 1.400m e 1.500m de altitude, atingindo até 1.580m no alto do Pico de Itabirito. As partes mais altas associam-se com rochas mais competentes das Formações Moeda e Cauê. Sobre a Formação Cauê, formam-se platôs suportados por carapaça laterítica, normalmente alóctone, composta por blocos de itabiritos e hematita

cimentados por goethita. Os vales ocorrem em regiões formadas por rochas menos competentes: filitos, dolomitos e, provavelmente, itabiritos dolomíticos. As cotas dos vales variam entre as altitudes 1.300m e 1.350m.

Na porção sudeste da mina aflora o Grupo Caraça representado por quartzitos de granulação variada (Formação Moeda) sobrepostos por filitos sericíticos de coloração cinza clara e filitos alterados amarelos, de composição original carbonática (Formação Batatal).

As Formações Ferríferas Bandadas são as principais representações do Grupo Itabira na base da cava e os dolomitos da Formação Gandarela, no topo. Ressalta-se que a unidade carbonática de topo não aflora em estado são na região das minas e ocorre recoberta por sedimentos secundários argilosos ou colúvios, depositados sobre a zona de alteração dos carbonatos. Nas campanhas de sondagens realizadas na região, apenas em alguns furos o dolomito apresenta-se são.

A Foto 3.10 apresenta uma intercalação de metachert, que é uma rocha formada alternadamente com o filito e apresenta micro grãos de sílica.



**Foto 3.10** - Talude em filito dolomítico com lente de metachert da Mina Capitão do Mato (24/08/2007).

### **3.6 Amostragem**

O Quadro 3.2 apresenta a descrição inicialmente fornecida pela empresa para cada um dos oito blocos estudados, enquanto as Fotos 3.11 a 3.18 ilustram a aparência dos mesmos na ocasião do início dos trabalhos de caracterização e análise.

As amostras indeformadas foram retiradas em locais especificados pelo setor de geologia da empresa, em blocos com dimensões de 35cm x 35cm x 35cm, de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 9604/86, ou seja, as superfícies expostas foram parafinadas, envoltas em tecido, transferidas para caixas de madeiras preenchidas com serragem e transportadas para o Laboratório de Mecânica dos Solos do DEC/UFV. Ressalta-se que após abertos e retirado o material necessário para o ensaio em andamento, os blocos foram novamente parafinados, envolto em tecido, ensacados e guardados em câmara úmida a fim de serem preservadas as suas características originais.

**Quadro 3.2 -** Locação e descrição das amostras indeformadas de filito dolomítico

AMOSTRA									
Nº	IDENT.	MINA	COORDENADAS			LITO	COLORAÇÃO	DIR.	OBSEERVAÇÕES
			X	Y	Z				
7	2-A	CMT	-4850,73	1088,97	1365,37	FD	Amarelo	⊥	Completamente saprolitizado, xistosa.
8	2-B	CMT	-4957,84	1083,12	1374,95	FD	Roxo avermelhado	⊥	Alteração A4 com bandamento e xistosidade bem desenvolvida, com níveis centimétricos de porções completamente alterado.
9	2-C	CMT	-4939,46	1094,61	1374,42	FD	Roxo	⊥	Bastante foliado alteado A3 à A4.
10	2-D	CMT	-4823,45	1099,25	1369,74	FD	Creme	⊥	Completamente alterada com foliação.
19	1-A	PIC	falta	falta	falta	FD	Branco rosada com níveis amarelos	⊥	Completamente alterada, bastante foliada.
22	2-A	PIC	falta	falta	falta	FD	Rosa arroxeadado	⊥	Foliação marcante e consistência macia.
23	2-B	PIC	falta	falta	falta	FD	Cinza claro a verde com níveis avermelhado	Obliquo	Foliação penetrativa, consistência macia.
25	4-A	PIC	falta	falta	falta	FD	Amarelo claro com níveis brancos	⊥	FD intercalado por MC mais alterado de baixíssima consistência.

Fonte: MBR (2002).



Foto 3.11 – CMT 2A.



Foto 3.12 – CMT 2B.



Foto 3.13 – CMT 2C.



Foto 3.14 – CMT 2D.



Foto 3.15 – PIC 1A.



Foto 3.16 – PIC 2A.



Foto 3.17 – PIC 2B.



Foto 3.18 – PIC 4A.