



Universidade de Brasília
Instituto de Geociências

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E FILIAÇÃO DA VERMICULITA DA MINA CERRADO III - SANCLERLÂNDIA-GO

Dissertação de Mestrado

Heloisa Helena Azevedo Barbosa da Silva

ORIENTADORA: **Dra. Edi Mendes Guimarães (UnB)**
CO-ORIENTADORA: **Dra. Sara Lais Rahal Lenharo (UnB/DPF)**
EXAMINADORES: **Dr. Reiner Neumann (CETEM)**
Dr. Nilson Francisquini Botelho (UnB)

BRASÍLIA
OUTUBRO, 2006

UnB – UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

***CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E
FILIAÇÃO DA VERMICULITA DA MINA
CERRADO III - SANCLERLÂNDIA-GO***

Heloisa Helena Azevedo Barbosa da Silva

Orientadora:
Dra. Edi Mendes Guimarães

Co-orientadora:
Dra. Sara Lais Rahal Lenharo

Dissertação apresentada ao curso de
mestrado em Geologia da Universidade de
Brasília – UnB, para obtenção do título de
mestre em geologia.

Área de Concentração:
Mineralogia e Petrologia

BRASÍLIA
2006

Aos quatro homens importantes de minha vida:

Meu pai, Engenheiro de Minas e Civil Carlúcio Barbosa da Silva, *in memoriam*, que despertou em mim, ainda criança, a curiosidade científica e o amor pelas Ciências da Natureza.

Meu esposo, Antônio Sales Teixeira (Tunico), grande companheiro e geólogo. Incentivador incansável.

Meus filhos universitários, Marcelo e Alexandre, como exemplo de que nunca é tarde para a busca do aperfeiçoamento profissional.

Agradecimentos

Agradeço acima de tudo a Deus, por fazer com que os acontecimentos em minha vida sempre se encaixem em uma seqüência harmoniosa e nos momentos certos, como este Mestrado.

À minha família, por compreender e aceitar meus períodos de afastamento e, mesmo assim, me incentivar a vencer mais este desafio.

À empresa Furnas Centrais Elétricas S.A., especialmente aos engenheiros Rubens Machado Bittencourt, Cláudia Henrique de Castro e Emídio Neto de Souza Lira, pela liberação para comparecimento às aulas moduladas no Instituto de Geociências da UnB e pelo apoio logístico de suporte às viagens.

À empresa Brasil Minérios Ltda., por permitir a execução de sondagem rotativa na área das minas e acesso à Planta Industrial, bem como o acesso a seu acervo técnico, além de liberar a divulgação dos resultados à comunidade científica.

À Superintendência de Geologia e Mineração do Governo de Goiás, que, através do FUNMINERAL, realizou as análises químicas das amostras. Agradeço, especialmente, ao Químico Silvio Divino Carolina pela paciência nas inúmeras reanálises e discussões técnicas.

À equipe do Laboratório de Mecânica das Rochas do Departamento de Apoio e Controle Técnico de FURNAS, especialmente à geóloga e amiga Ana Livia Zeitune de Paula Silveira, pelas análises no MEV, discussões e incentivo; ao Técnico em Mineração Renato Batista de Oliveira, pelo cuidado com o equipamento de DRX, pela paciência em embarcar nas minhas eternas experiências na busca da solução ideal e ainda, pela inestimável ajuda com o software de imagem e na edição dos mapas aqui apresentados; à Técnica em Mineração Fernanda Mendonça Ribeiro Camelo Góes e à estagiária em Mineração Roberta Martins Saraiva pela dedicação e paciência na preparação das incontáveis amostras para as técnicas analíticas aqui utilizadas, sem perder o bom humor e a disponibilidade.

Ao Engenheiro Civil Sérgio Veiga Fleury que se desligou da equipe já no final deste Mestrado e que muito me ajudou com sua descontração, palavras de incentivo e na discussão sobre a apresentação dos resultados.

Aos engenheiros civis Renato Cabral Guimarães, Wanderson Silvério Silva e Rodrigo Junqueira Calixto, por esclarecimentos quanto a formatações, auxílio em traduções e, principalmente pela amizade e incentivo.

À Geóloga e amiga Maria Celene Barbosa Ferreira, pela boa vontade nas discussões iniciais sobre petrografia.

Aos professores do Instituto de Geociências da UnB que fizeram parte da minha formação profissional, com fantásticas excursões e alguns acidentes de percurso (como o naufrágio no Rio Maranhão) e que sempre me receberam de braços abertos, nunca se furtando a prestar esclarecimentos técnicos e indicar os caminhos a serem seguidos para o alcance dos objetivos almejados. Meus agradecimentos especiais ao Prof. Nilson Francisquini pelo apoio à petrografia e ao Prof. Danni pela discussão sobre a modelagem magmática para os corpos máfico-ultramáficos de Sanclerlândia/São Luís de Montes Belos.

Ao meu revisor de texto e formatação, Ednei Vieira de Góes, por me poupar de tarefa tão árdua.

Finalmente, gostaria de agradecer à minha orientadora Professora Edi Mendes Guimarães, pelas discussões e “correções de rumo” e à minha co-orientadora Geóloga Sara Lais Rahal Lenharo, pelas discussões, apoio com as análises no MEV e revisões finais. A ambas agradeço a amizade e a confiança em mim depositadas durante toda a duração deste Mestrado.

Índice

Agradecimentos.....	4
Índice.....	6
Lista de Figuras.....	8
Lista de Tabelas.....	14
RESUMO.....	15
ABSTRACT.....	16
1. Introdução.....	1
1.1. Localização.....	2
1.2. Objetivo.....	2
2. Vermiculita - Características, Aplicações e Panorama Mundial.....	4
2.1. Características.....	4
2.2. Aplicações.....	9
2.3. Principais Depósitos no Mundo.....	12
2.4. Principais Depósitos no Brasil.....	15
2.4.1. Fazenda Massapé - Paulistana - PI.....	15
2.4.2. Catalão I - Catalão/Ouvidor - GO.....	16
2.4.3. Panorama do Mercado Mundial de Vermiculita.....	17
3. Contexto Geológico.....	19
3.1. Geologia Regional.....	19
3.1.1. Arco Magmático de Goiás (Neoproterozóico).....	20
3.1.1.1. Ortognaisses/Granitóides.....	20
3.1.1.2. Sequências Vulcano-Sedimentares.....	21
3.1.1.3. Suíte Máfico-Ultramáfica Tipo Americano do Brasil.....	23
3.1.1.3.1. Complexo de Americano do Brasil.....	24
3.1.1.3.2. Complexos de Mangabal I e II.....	24
3.1.1.3.3. Complexos de São Luís de Montes Belos/Sanclerlândia.....	25
3.2. Corpos Máfico-Ultramáficos Mineralizados a Vermiculita da Região de Sanclerlândia/São Luís de Montes Belos.....	25
3.2.1. Corpo Ultramáfico Cerrado III.....	30
3.2.1.1. Piroxenito Hidrotermalizado.....	36
3.2.1.2. Peridotito Hidrotermalizado.....	38
3.2.2. Mineralização de Vermiculita.....	42
3.2.3. Beneficiamento da Vermiculita de Sanclerlândia.....	43
4. Metodologia de Trabalho.....	48
4.1. Amostragem.....	48
4.2. Técnicas Analíticas Utilizadas.....	49
4.2.1. Difração de Raios-X.....	49
4.2.2. Microscopia Ótica.....	50
4.2.3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	51
4.2.4. Análise Química.....	53
5. Caracterização Mineralógica do Depósito Cerrado III.....	54
5.1. Difração de Raios-X.....	54
5.1.1. Amostras das Frentes de Lavra e das Sondagens.....	54
5.1.2. Amostras da Usina e do Laboratório Industrial.....	70
5.2. Análise Química.....	74

5.3. Microscopia Ótica.....	76
5.3.1. Piroxenito hidrotermalizado.....	77
5.3.2 Peridotito hidrotermalizado	86
5.3.3. Porção Enriquecida em Piroxenito Cumulado	92
5.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	95
6. Feições Genéticas da Vermiculita e Características Anômalas no Depósito Cerrado III	104
Referência Bibliográfica	122
ANEXOS.....	126

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Mapa de Localização da área em Estudo - Filial II.	2
Figura 2.1 - Plano (010) da estrutura dos principais grupos de filossilicatos hidratados, inclusive vermiculita, segundo Bailey (1988).	4
Figura 2.2 - Estrutura Básica da Vermiculita em Diferentes Estágios de Hidratação.....	8
Figura 2.3 - Comparação entre o tamanho de palhetas da vermiculita da Jazida Cerrado III: crua - cerca de 0,8mm e esfoliada - cerca de 8mm.....	9
Figura 3.1 - Mapa geológico simplificado da porção centro-leste da Província Tocantins, modificado de Pimentel <i>et al.</i> , 2004.	22
Figura 3.2 - Mapa Geológico Regional, com a Área de Distribuição dos Depósitos de Vermiculita... ..	27
Figura 3.3 - Detalhe da Área dos Depósitos de Vermiculita.....	28
Figura 3.4 - Vista geral da área do corpo máfico-ultramáfico Cerrado III em contato com a encaixante. .	29
Figura 3.5 - Estrutura de “box work”, provavelmente de sílica em estágio adiantado de formação do solo.	30
Figura 3.6 - Esboço do Corpo Cerrado III, antes do início da lavra, onde estão realçados: em branco o planejamento da lavra; e em vermelho os perfis realizados na porção SW do corpo Cerrado III.....	31
Figura 3.7 - Pegmatito em uma das paredes da lavra.	32
Figura 3.8 - Detalhe de um dos poucos pegmatitos que ocorrem no Cerrado III.....	32
Figura 3.9 - Parede da cava em 2003, em que se nota o perfil de intemperismo e a gradação do solo para saprolito com Piroxenito hidrotermalizado alterado.	32
Figura 3.10 - Cava em 2003, com o perfil de intemperismo e gradação do solo para saprolito com Piroxenito hidrotermalizado alterado e porções estéreis desta rocha preservada (partes escuras).....	32
Figura 3.11 - Solo e o biotita gnaiss encaixante, com bandamento gnáissico típico.....	33
Figura 3.12 - Solo e o biotita gnaiss encaixante, com dobras assimétricas com espessamento apical.....	33
Figura 3.13 - Esboço Geológico da Cava – Porção Leste do Corpo Cerrado III.	34
Figura 3.14 – Seção geológica esquemática SW-NE na área lavrada.	35
Figura 3.15 - Seção geológica esquemática NW-SE na área lavrada.....	36
Figura 3.16 - Feições que sugerem dobramentos suaves piroxenito hidrotermalizado.....	37
Figura 3.17 - Ondulações no piroxenito hidrotermalizado sugerindo fluxo magmático ou posicionamento do corpo.	37
Figura 3.18 - Biotita gnaiss sendo englobado pelo Piroxenito hidrotermalizado.....	37
Figura 3.19 - Contato do piroxenito ualitzado (1) com o peridotito hidrotermalizado (2) marcado por nível centimétrico a métrico de vermiculita (3).	38
Figura 3.20 - Nível enriquecido em vermiculita do piroxenito hidrotermalizado (01) e porções do peridotito hidrotermalizado (02).	38
Figura 3.21 - Vista de parte da cava da mina do Corpo Cerrado III em Junho de 2005: 01 - Solo; 02 - Biotita Gnaiss; 03 - Piroxenito hidrotermalizado mineralizado; 04 - Peridotito hidrotermalizado, com porção enriquecida em fragmentos do piroxenito cumulado; 05 - Piroxenito hidrotermalizado estéril; 06 - Peridotito hidrotermalizado.	39

Figura 3.22 - Detalhe da feição nº 04 da Figura 3.19 da parede da cava, mostrando porção do peridotito hidrotermalizado enriquecida com fragmentos do piroxenito cumulado.....	40
Figura 3.23 - Detalhe da Figura 3.20 mostrando o enriquecimento em vermiculita (1) e os fragmentos arredondados de piroxenito cumulado.	40
Figura 3.24 - Fragmentos do piroxenito cumulado com halos de alteração para serpentina.	41
Figura 3.25 - Detalhe do piroxenito cumulado com halo de alteração para serpentina.	41
Figura 3.26 - Bloco de Peridotito hidrotermalizado não intemperizado no meio do pacote de peridotito intemperizado.....	41
Figura 3.27 - Detalhe do final do furo SR-01, aos 31,03m (inclinado 60°), ainda mineralizado.	42
Figura 3.28 - Detalhe do final do furo SR-02, aos 37,00m (inclinado 60°), ainda mineralizado.	42
Figura 3.29 - Detalhe da grelha para separação das “pedras”.	43
Figura 3.30 - Vista geral dos tromels classificatórios	43
Figura 3.31 - Processo de Beneficiamento - Circuito de Deslamagem.....	44
Figura 3.32 - Processo de Beneficiamento - Circuito de Secagem	45
Figura 3.33 - 1ª etapa - pátio de secagem.....	45
Figura 3.34 - 2ª etapa – Secador Rotativo.....	45
Figura 3.35 - Processo de Beneficiamento - Circuito de Classificação do Concentrado	46
Figura 3.36 - Winnover Médio – para classificação, por tamanho, do concentrado de vermiculita crua.	46
Figura 3.37 - Etapa final – ensacamento dos concentrados de vermiculita crua em “big bags”.....	46
Figura 3.38 - Forno de Expansão	47
Figura 3.39 - Forno de expansão à esquerda, vermiculita expandida ensacada e ciclone à direita.....	47
Figura 4.1 - Preparação das Amostras para DRX.	50
Figura 4.2 - Briquetes das contra-provas das lâminas delgadas.....	51
Figura 5.1 - Faixa de solo do furo 01 de sondagem rotativa a diamante (FS-01).	57
Figura 5.2 - Faixa de solo do furo 02 de sondagem rotativa a diamante (FS-02).	57
Figura 5.3 - Faixa do saprolito do furo 01 de sondagem rotativa a diamante (FS-01).....	58
Figura 5.4 - Faixa do saprolito do furo 02 de sondagem rotativa a diamante (FS-02).....	58
Figura 5.5 - Faixa do saprolito inferior do furo 01 de sondagem rotativa a diamante (FS-01).....	59
Figura 5.6 - Faixa do saprolito inferior do furo 02 de sondagem rotativa a diamante (FS-02).....	59
Figura 5.7 – Piroxenito hidrotermalizado pouco mineralizado – não intemperizado.	60
Figura 5.8 – Piroxenito hidrotermalizado mineralizado – semi-alterado.....	60
Figura 5.9 – Peridotito hidrotermalizado típico, com traços de talco e serpentina.	61
Figura 5.10 – Peridotito hidrotermalizado – estágio avançado de serpentinização.....	61
Figura 5.11 – Peridotito hidrotermalizado pouco serpentinizado.	62
Figura 5.12 - Piroxenito hidrotermalizado CIII-37 – Calcinado a diferentes temperaturas.	63
Figura 5.13 - Peridotito hidrotermalizado CIII-38 – Calcinado a diferentes temperaturas.....	63
Figura 5.14- Peridotito hidrotermalizado CIII-39 – Calcinado a diferentes temperaturas.....	64
Figura 5.15 - Peridotito hidrotermalizado (rico em olivina) CIII-40 – Calcinado a diferentes temperaturas.	64

Figura 5.16 - Peridotito hidrotermalizado (rico em talco) FS01-05 – Calcinado a diferentes temperaturas.	65
Figura 5.17 - Peridotito hidrotermalizado (rico em serpentina) FS01-11 – Calcinado a diferentes temperaturas.	65
Figura 5.18 - Análises Acumuladas por Diferentes Profundidades – FS-02.....	66
Figura 5.19 - Piroxenito hidrotermalizado mineralizado, com palhetas pegmatóides anômalas.	67
Figura 5.20 - Análise integral do Piroxenito Uralitizado, com Vermiculita com $d_{001}=10\text{Å}$	67
Figura 5.21 - Análises acumuladas do Piroxenito hidrotermalizado, com Vermiculita com $d_{001}=10\text{Å}$	68
Figura 5.22 - Vermiculitas de diferentes depósitos brasileiros.	68
Figura 5.23 - Análises Acumuladas de Paulistana-PI.	69
Figura 5.24 - Análises Acumuladas Catalão-GO.	69
Figura 5.25 - Análise Integral da amostra USI-06 – Rejeito Pesado da Expansão.	71
Figura 5.26 - Análises Acumuladas da amostra USI-06 – Rejeito Pesado da Expansão.	71
Figura 5.27 - Análise Integral da amostra USI-07 – Rejeito Leve da Expansão.....	72
Figura 5.28 - Análises Acumuladas da amostra USI-07 – Rejeito Leve da Expansão.....	72
Figura 5.29 - Análise Integral da amostra USI-08 – Rejeito Pesado da Deslamagem.	73
Figura 5.30 - Análises Acumuladas da amostra USI-09 – Concentrado Cru de Vermiculita.	74
Figura 5.31 - Análise Integral da amostra USI-13 – Concentrado Médio de Vermiculita Expandida..	74
Figura 5.32 - Amostra-de-mão do Piroxenito hidrotermalizado estéril fresco.....	77
Figura 5.33 - Frente de lavra do Piroxenito hidrotermalizado mineralizado alterado.....	77
Figura 5.34 - CIII - 37a - grandes cristais de piroxênio (1), zona de transição para anfibólio (2) e vermiculita (3) formada a partir do anfibólio. N //.....	78
Figura 5.35 - CIII - 37a - mesmas feições da figura anterior. N X.	79
Figura 5.36 - CIII - 24: Piroxênio (1) (baixa birrefringência) quase totalmente alterado para anfibólio (2). N X.	79
Figura 5.37 - CIII - 34b: Carbonatos (1) e anfibólios (2) com inclusões de opacos provavelmente derivados das inclusões existentes no clinopiroxênio original. N //.....	80
Figura 5.38 - CIII - 34b: Mesma fotomicrografia anterior com N X.	80
Figura 5.39 - Amostra CIII-37c, mostrando um grande cristal de anfibólio (1) alterando-se para vermiculita (2) nas bordas e exsolução de ferro sob a forma de hematita (3) no processo de transformação. N //.....	81
Figura 5.40 - Amostra CIII-37c: mesma fotomicrografia anterior, com os N X.....	81
Figura 5.41 - Amostra FS01-17: anfibólios fibrosos (1) transformando-se para vermiculita (2) e talco (3).N X.	82
Figura 5.42 - Amostra FS01-17: palheta de vermiculita (1), em processo inicial de cloritização (2) e aparentemente com fibras reliquiares de anfibólio (3). Nota-se material opaco (4), provavelmente derivado de inclusões existentes no clinopiroxênio original. N //.....	82
Figura 5.43 - Amostra FS01-17: palheta de vermiculita (1), em processo inicial de cloritização (2) e aparentemente com fibras reliquiares de anfibólio fibroso (3). Nota-se a grande quantidade de material opaco exsolvido (4). N //.....	83
Figura 5.44 - CIII - 23b: anfibólio (1), piroxênio (2) e vermiculita (3) em equilíbrio. N//.....	84

Figura 5.45 - CIII - 23b: anfibólio (1) em equilíbrio com Piroxênio (2) (baixa birrefringência) e com a vermiculita (3). N X.	84
Figura 5.46 - CIII - 23b: anfibólio (1), piroxênio (2) e vermiculita (3). N //.....	85
Figura 5.47 - CIII - 23b: anfibólio se desestabilizando nas bordas e nas zonas de fraqueza (1), piroxênio (2) e vermiculita (3). N X.	85
Figura 5.48 - Amostra não intemperizada do peridotito mineralizado (palhetas destacadas).....	86
Figura 5.49 – peridotito mineralizado mais alterado na frente de lavra.....	86
Figura 5.50 - Amostra FS01-18 (30m profundidade): grandes cristais de olivina (1) fraturada, com preenchimento de serpentina (2), associada a vermiculita (3) e anfibólio contendo inclusões de opacos (4). N //.....	87
Figura 5.51 - Amostra FS01-18 (30m profundidade): mesma amostra anterior, com os N X.	87
Figura 5.52 - Amostra CIII-40: piroxênio (ortopiroxênio) (1) fraturado associado a anfibólio (2) e talco (3). N X.	88
Figura 5.53 - Amostra CIII-40: Grande cristal de olivina (como fase cumulus original) com serpentinização incipiente (1) ao lado de grandes lamelas de talco (2) e vermiculita (3). N //.....	88
Figura 5.54 - Amostra CIII-40: mesma amostra anterior com N X.	89
Figura 5.55 - Amostra CIII-40: Mesma amostra, com fotomicrografia em posição imediatamente a sul da anterior, onde se pode ver parte da olivina (1) ao lado das lamelas de talco (2) e grande palheta de vermiculita com inclusões de opacos (3) e cloritização nas bordas. Polarizadores descruzados.	89
Figura 5.56 - Amostra CIII-40: mesma amostra anterior, só que com N X.	90
Figura 5.57 - Amostra CIII-40 - mesma amostra anterior, com grandes lamelas de vermiculita (1) alterando-se para clorita (3) e presença de carbonato bem cristalizado (3). N X.....	90
Figuras 5.58 - CIII - 38: vermiculita (1), com inclusões de ilmenita (2) segundo os seus planos de clivagem, e apresentando início de alteração para clorita (3). N X.....	91
Figura 5.59 - CIII - 38: vermiculita (1) com inclusões de ilmenita (2) segundo os seus planos de clivagem e apresentando início de alteração para clorita (3). N X.....	91
Figura 5.60 - CIII - 33: vermiculita (1) com inclusões de ilmenita (2) segundo os planos de clivagem e apresentando início de alteração para clorita (3). Polarizadores parcialmente cruzados.	92
Figura 5.61 - Amostra CIII-34a: clinopiroxênio microfraturado (1), com borda de alteração para serpentina (2). NX.....	93
Figura 5.62 – Amostra CIII-34b: presença de pargasita (1) e serpentina (2), como produto de alteração do piroxênio original. N //.....	93
Figura 5.63 - Amostra CIII-34b: mesma análise anterior com os N //.....	93
Figura 5.64 - Amostra CIII-34c: presença de carbonatos e anfibólio, como produtos de alteração do piroxenito original. N X.	94
Figura 5.65 - Amostra CIII-34a: foto tirada em lupa binocular, mostrando a estrutura da auréola de alteração para serpentina do piroxênio. O mineral preto preenchendo fraturas foi identificado por DRX e MEV como sendo ilmenita.....	94
Figura 5.66 - Amostra CIII-37 – Piroxenito hidrotermalizado: imagem e espectros das palhetas de vermiculita perpendiculares à seção basal do anfibólio que lhes deu origem e também da seção basal da principal direção de crescimento da vermiculita. Aumento de 4000x.....	95
Figura 5.67 - Amostra CIII – 37 : Piroxenito hidrotermalizado: seção basal da vermiculita. Aumento 100x.....	96

Figura 5.68 - Amostra CIII-38 – Peridotito hidrotermalizado: imagem e espectros das palhetas de vermiculita paralelos à seção basal da vermiculita. Aumento de 3000x.....	96
Figura 5.69 - Amostra CIII-38 – Peridotito hidrotermalizado: detalhe da imagem anterior e espectro das palhetas de vermiculita. Aumento de 8000x.....	97
Figura 5.70 - Amostra CIII-38 – Peridotito hidrotermalizado: posição paralela à seção basal da vermiculita. Aumento 300x e microanálise n018 mostrando ilmenita, provavelmente como exsolução na vermiculita.....	97
Figura 5.71 - Amostra CIII-39 – Peridotito hidrotermalizado: imagem e espectros das palhetas de vermiculita paralelos à seção basal. Aumento de 3000x.....	97
Figura 5.72 - Amostra CIII-39 – Peridotito hidrotermalizado: detalhe da imagem anterior, com aspecto corrugado da superfície das palhetas da imagem anterior e espectro das mesmas. Aumento de 10.000x.....	98
Figura 5.73 - Amostra CIII-39 – Peridotito hidrotermalizado: detalhe da do canto SW da imagem anterior. Aumento de 6.000x.....	98
Figura 5.74 - Amostra CIII-39 – Peridotito hidrotermalizado: imagem e microanálise da palheta paralela à seção basal. Aumento de 100x.....	98
Figura 5.75 - Amostra CIII-37 – Piroxenito hidrotermalizado: imagem e espectros do carbonato (n009 e n009a), identificado como dolomita, e da vermiculita (n009b). Aumento de 2.500x.....	99
Figura 5.76 - Amostra CIII-37 – Piroxenito hidrotermalizado: Detalhe da imagem anterior e espectro de um silicato de magnésio, provavelmente talco. Aumento de 5000x.....	99
Figura 5.77 - Amostra CIII-40 – Peridotito hidrotermalizado: imagem e espectros do carbonato (n050), que parece ser calcita com traços de magnésio. Aumento de 2.500x.....	100
Figura 5.78 - Amostra CIII-34a – Peridotito hidrotermalizado: imagem de mineral fibroso, provavelmente serpentina. Aumento 1000x.....	100
Figura 5.79 – Amostra CIII-34a – Piroxenito cumulado: Ilmenita, como inclusão. Análise no MEV do DPF de Brasília.....	101
Figura 5.80 – Amostra CIII-34a - Piroxenito cumulado: análise sobre hematita (3) – produto de alteração intempérica desta rocha e sobre olivina reliquiar (4). Análise realizada no MEV do DPF de Brasília.....	101
Figura 5.81 – Amostra CIII-34a - Piroxenito cumulado: análise sobre ilmenita (22) e sobre olivina reliquiar (23). Análise realizada no MEV do DPF de Brasília.....	102
Figura 5.82 - Amostra FS-06 – Peridotito hidrotermalizado: presença de opaco portador de cromo, provavelmente cromo-magnetita (30). Análise realizada no MEV do DPF de Brasília.....	102
Figura 5.83 – Vermiculita de Catalão: microanálise realizada em área típica. Aumento 200x.....	103
Figura 5.84 – Vermiculita de Catalão: microanálise realizada no material pulverulento da microfatura – mineral contendo elementos do Grupo das Terras Raras.....	103
Figura 5.85 – Vermiculita de Paulistana: microanálise realizada na seção basal da palheta.....	103
Figura 6.1 - Amostra CIII-38 : amostra-de-mão do “peridotito hidrotermalizado” próximo à zona de falha, que em função da textura e alternância de faixas ricas em vermiculita com faixas de material recristalizado, poderia ser chamado de filonito.....	105
Figura 6.2 - Amostra de filonito: fotomicrografia em estereomicroscópio do “peridotito hidrotermalizado” próximo à zona de falha.....	106
Figura 6.3 - Amostra de filonito: fotomicrografia mostrando nítida recristalização e orientação dos minerais. NX.....	106

Figura 6.4 - Amostra de filonito: fotomicrografia mostrando nítida recristalização, neoformação de quartzo, alternância de faixas e orientação dos minerais. NX.....	107
Figura 6.5 – Amostra CIII-38: Peridotito hidrotermalizado mostrando inclusões de ilmenita em palheta deformada de vermiculita. NX.	108
Figura 6.6 – Amostra CIII-39: Peridotito hidrotermalizado mostrando inclusões de ilmenita em grande lamela deformada de vermiculita. Nota-se, ainda, palheta acima desta, também deformada. N//.	108
Figura 6.7 – Amostra CIII-39: mesma fotomicrografia anterior NX.	109
Figura 6.8 - Piroxenito hidrotermalizado com pseudomorfo do anfibólio transformado em vermiculita.....	110
Figura 6.9 – Seção basal de uma vermiculita tipo “prêmio” do Corpo Cerrado III.	110
Figura 6.10 - outra vermiculita tipo “prêmio” do Corpo Cerrado III.....	111
Figura 6.11 - Vermiculitas do Cerrado III, formadas paralelamente à seção prismática (// eixo <i>c</i>) do anfibólio.	111
Figura 6.12 - Vermiculitas tipo “prêmio” - pseudomorfo de anfibólio com desenvolvimento da vermiculita // ao eixo <i>c</i> do anfibólio.....	111
Figura 6.13 - CIII - 38: vermiculita (1) com inclusões de ilmenita (2) segundo os planos de clivagem da vermiculita, a qual apresenta início de alteração para clorita (3). NX.	112
Figura 6.14 – Peridotito hidrotermalizado típico, com traços de talco e serpentina.	112
Figura 6.15 - Vermiculita do Piroxenito hidrotermalizado - Cerrado III.....	113
Figura 6.16 - Vermiculita do Peridotito hidrotermalizado – Cerrado III.	113
Figura 6.17 - Vermiculita de Catalão-GO.....	113
Figura 6.18 - Vermiculita de Paulistas-PI.....	113
Figura 6.19 - Amostra CIII-40: Peridotito hidrotermalizado não intemperizado. NX.....	114
Figura 6.21 – Amostra CIII37a: vermiculita do Piroxenito hidrotermalizado, saturadas com KOH..	115
Figura 6.22 – Amostra CIII39a: vermiculita do Piroxenito hidrotermalizado, saturadas com KOH..	115
Figura 6.23 – Amostra Catalão-GO: vermiculita saturada com KOH.	115
Figura 6.24 – Amostra Paulistana-PI: vermiculita saturada com KOH.	115
Figura 6.25 – Amostra do Piroxenito hidrotermalizado, com vermiculita anômala em K.....	117
Figura 6.26 - Análises Acumuladas por Diferentes Profundidades – FS-02.....	118
Figura 6.27 – Amostra CIII-24: mostrando piroxênio (baixa birrefringência) quase totalmente transformado em anfibólio. NX.	118
Figura 6.28 – Amostra CIII-37: Anfibólio alterando-se para vermiculita nas bordas, com nítida perda de ferro no processo, que formou a hematita. NX.....	118

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Empilhamento como função do cátion, espaçamento basal e número de moléculas de água por cátion, modificado De la Calle & Suquet (1988).....	6
Tabela 2.2 - Características e Teores de Vermiculita da Brasil Minérios.....	11
Tabela 2.3 - Principais Depósitos do Mundo e do Brasil, com a Classificação e Origem da Vermiculita.....	14
Tabela 2.4 - Reservas e Produção Mundial de Vermiculita.....	17
Tabela 2.5 - Reservas dos principais depósitos de vermiculita no Brasil, no ano de 2004.....	17
Tabela 2.6 - A produção de vermiculita no Brasil no ano de 2004.....	18
Tabela 4.1 - Quantitativo das Amostras Coletadas e Respectivos Códigos.....	48
Tabela 5.1 - Resumo da Mineralogia encontrada na Jazida Cerrado III.....	55
Tabela 5.2 - Resumo da mineralogia indicada por difratometria de raios-X em amostras dos intervalos expostos na Tabela 5.1.....	56
Tabela 5.3 - Identificação e Mineralogia das amostras calcinadas a diferentes temperaturas.....	62
Tabela 5.4 - Resultados da difração de raios-X em diferentes produtos da Usina Industrial.....	70
Tabela 5.5 – Composição das Rochas Máfico-Ultramáficas do Corpo Cerrado III.....	75
Tabela 5.6 – Composição de Concentrados de Vermiculita de Diferentes Depósitos no Brasil e no Mundo.....	75
Tabela 5.7 - Composição das Palhetas de Vermiculita a partir da Geoquímica (AA e VU).....	76
Tabela 5.8 - Fórmula Estrutural das vermiculitas do Cerrado III, a partir da Geoquímica em palhetas puras, em comparação com outras conhecidas no mundo.....	76
Tabela 6.1 - Teores de Concentrados de Vermiculita.....	113

RESUMO

Esta dissertação aborda o estudo da vermiculita do corpo ultramáfico Cerrado III, que possui forma elíptica e dimensões em torno de 300 x 150m, com orientação NW-SE, intrudido em biotita gnaisses pertencentes ao Complexo Granito-Gnáissico. Ocorre na região de Sanclerlândia/São Luís de Montes Belos, ao sul do Arco da Serra Dourada, a oeste da falha de São Luís de Montes Belos e a oeste dos Complexos Máfico-Ultramáficos de Mangabal I e II. O corpo Cerrado III, a exemplo de outros pequenos corpos máfico-ultramáficos existentes nesta região, pertence à Suíte Máfico-Ultramáfica Americano do Brasil, inserida no Arco Magmático de Goiás, de idade neoproterozóica. O manto de alteração intempérica sobre o corpo Cerrado III é de, aproximadamente, 12 m de espessura, marcado por minerais típicos e hidrobiotita. O lençol freático oscila em torno dos 20m de profundidade. Até este nível, a rocha se apresenta inconsistente permitindo a lavra mecânica. A partir daí, a alta coesão da rocha inviabiliza a lavra, apesar da mineralização de vermiculita avançar em profundidade. O objetivo deste estudo foi a caracterização da vermiculita do corpo Cerrado III, seu modo de ocorrência, tipos litológicos, filiação e seu comportamento nas diferentes etapas de concentração. A metodologia utilizada envolveu estudo de amostras de diversos pontos da Usina Industrial de Beneficiamento, assim como da mina, em diferentes estágios de evolução da cava através das técnicas de geoquímica em rochas e em palhetas, difração de raios-X, microscopia ótica e eletrônica. A caracterização permitiu a individualização de dois tipos de minério, aos quais foram dadas nomenclaturas em função da paragênese e das rochas ígneas de origem: Piroxenito hidrotermalizado e Peridotito hidrotermalizado. Este estudo permitiu ainda a obtenção de evidências de filiação hidrotermal para esta vermiculita, a partir da alteração de anfibólios. As evidências que sustentam essa hipótese são: localização da mineralização apenas em uma faixa externa, na borda do corpo ultramáfico; ausência de auréola de concentração de biotita na encaixante, que seria utilizada como “fonte” para a vermiculita; formato das seções basais das lamelas (mantendo preservados o hábito e clivagens do mineral máfico); preservação das exsoluções de ripas de ilmenita segundo orientação das clivagens do mineral máfico original; ausência de minerais micáceos nas análises por DRX; teores de K geralmente inferiores a 0,05%; associação mineral: olivina bem preservada, carbonato, talco, anfibólio e vermiculita, mesmo a profundidades abaixo de do nível máximo de flutuação do lençol freático (20m); ocorrência de mineralização de vermiculita em altos teores na rocha isenta de intemperismo, até profundidades em torno de 32m, onde foi possível investigar.

ABSTRACT

This study presents the characterization of the vermiculite of the ultramafic ore body of Cerrado III. It's an elliptical shape body, of 300 x 150m wide, with main orientation NW-SE that have been emplaced in biotite-hornblende gneisses of the Granite-Gnaissic Complex during the Neoproterozoic. The Cerrado III ore body occurs in the region of São Luís de Montes Belos and Sanclerlândia Counties, in the southern part of Serra Dourada Arc; western area of São Luís de Montes Belos fault and western part of the Mafic-Ultramafic Complexes of Mangabal I and II. As the other small mafic-ultramafic bodies known in this region, the Cerrado III body belongs to the Mafic-Ultramafic Suite of Americano do Brasil, a member of the Magmatic Arc of Goiás. The weathering profile goes down to 12 meters and is composed by typical minerals as kaolinite and illite, as well as hidrobiotite. The water table varies around 20 m depth where the rocks are unconsolidated and the ore can be mined by mechanic ways. Below this level the hardness of the rock makes the ore extraction unfeasible, although the mineralization continues in the hard rock. The main object of this study is the characterization of the vermiculite of the ore body Cerrado III, its way of occurrence, associated lithologic types, the vermiculite association and its dressing behavior. The study methodology was carried out with samples of different stages of the Industrial Dressing Plant, as well as several ones from the open pit mine in different times. These samples were investigated by geochemistry of rocks and pure vermiculite, x-ray diffraction, as well as optical and electronic microscopy. This characterization pointed to the identification of two ore types, and their classification was chosen by their mineral assembly as well as their original igneous rock type: hornblende hydrothermal pyroxenite and hydrothermal peridotite. This study pointed out the following hydrothermal associations' evidences for the vermiculite after amphibole alteration. The main evidences are: mineralization occurring only in the border of the ultramafic body; lack of a rim with biotite concentration in the host rock, to be used as the source of the vermiculite; the shape of the basal sections of the vermiculite, maintaining the habit and cleavages of the original mafic mineral; presence of preserved fine spindle-shaped bodies of exsolved ilmenite following the original mafic mineral cleavages directions; lack of micaceous minerals in the XRD analysis; K content usually lower than 0,05%; mineral association of well preserved olivine, carbonate, talc, amphibole and vermiculite in depths even below the water table (20 m); presence of high grade vermiculite mineralization down to 32 m, in hard rock, until where the investigation was possible.

1. Introdução

A vermiculita é um mineral industrial importante que, em seu estado natural assemelha-se às micas, em tamanho, forma e coloração, porém, quando rapidamente aquecida a temperaturas acima de 374°C, a água presente entre as palhetas se transforma em vapor e a pressão gerada faz com que as placas se expandam em ângulos retos com as clivagens (como acordeão). Este processo proporciona um aprisionamento de ar entre as palhetas e um aumento de volume em cerca de 10 a 20 vezes, podendo atingir 30 vezes. Conhecido como esfoliação ou expansão térmica, este processo é próprio apenas da vermiculita e fornece um produto de baixo peso (90 a 110 kg/m³) usado em vários setores da construção civil e da indústria automotiva como excelente isolante térmico e acústico, além de ser largamente utilizado em horticultura e agricultura. Neste último segmento a vermiculita entra, principalmente, como componente do substrato para plantio de mudas para reflorestamento, cultura de fumo e flores.

A ampliação dos estudos sobre vermiculita se justifica em função do grande número de variáveis que influenciam a formação de diversos politipos, tais como: a configuração do espaço intercamada; as ligações dos cátions intercamadas com as superfícies oxigenadas das camadas; além do tipo de empilhamento das camadas, determinando certas características de textura do mineral. Estes estudos também procuram explicar os diferentes comportamentos da vermiculita, tanto nos tratamentos em laboratório, quanto no beneficiamento.

Em São Luís de Montes Belos / Sanclerlândia - GO, no minério explotado, apesar da aparência e procedência similares, as vermiculitas beneficiadas na planta industrial apresentam diferentes taxas de recuperação, justificando a importância da sua caracterização, para melhor controle do seu aproveitamento.

Os corpos mineralizados são intrusões ultrabásicas de composição peridotítica, com forma elíptica e dimensões médias em torno de 300 x 150m. Possuem direções variadas e apresentam deformações nas bordas, onde a mineralização se desenvolveu. A parte central das intrusões é menos deformada e preserva rochas máficas e ultramáficas. Pegmatitos ácidos com dimensões submétricas a métricas, em geral caulinizados, cortam localmente os corpos de rochas ultrabásicas.

Para a caracterização das vermiculitas, as seguintes técnicas analíticas foram empregadas: difração de raios-X; geoquímica de rochas e de palhetas; microscopia ótica; microscopia eletrônica de varredura. Não se utilizou microsonda eletrônica em função da falta de operacionalidade do equipamento disponível no IG da UnB.

1.1. Localização

O minério de vermiculita ocorre em corpos pertencentes à Suite Máfico-Ultramáfica do tipo Americano do Brasil, de idade neoproterozóica, que por sua vez faz parte do Arco Magmático de Goiás. Os corpos máfico-ultramáficos mineralizados a vermiculita, já conhecidos, localizam-se a sul do arco da Serra Dourada, a sul de Sanclerlândia e noroeste de São Luís de Montes Belos. Foram posicionados por processos tectônicos como zonas de cisalhamento ou lascas tectônicas em biotita-hornblenda gnaisses do Complexo Granito-Gnáissico.



Figura 1.1 - Mapa de Localização da área em Estudo - Filial II.

1.2. Objetivo

A idéia inicial da abordagem deste estudo atendeu ao objetivo maior de FURNAS de aprimorar a rotina de identificação dos argilominerais expansivos no Laboratório de Difração de Raios-X, em função da grande utilização de solos e rochas nas obras de barragens e do efeito danoso destes minerais, caso presentes em grande quantidade e não identificados previamente.

Para atender este objetivo, foi escolhido um dos minerais mais complexos e com comportamento difratométrico ainda pouco conhecido – a vermiculita, além do fato de Goiás ser detentora das maiores reservas brasileiras deste argilomineral.

Associado a isto, havia a necessidade da obtenção de maior conhecimento sobre este mineral industrial, devido à sua aplicação crescente na indústria da construção civil. Sob este aspecto, a vermiculita expandida da Brasil Minérios Ltda. é objeto de estudo sob convênio de FURNAS (Departamento de Apoio e Controle Técnico) com a Universidade Federal de Goiás (Escola de Engenharia Civil), com os trabalhos:

- Mestrado: “Painel Sanduíche com Núcleo em Vermiculita Expandida: Análise da Eficiência do Conector Tipo Treliça na Rigidez do Painel”;
- Iniciação Científica: “Traço para Painéis Pré-moldados de Concreto Contendo Vermiculita Expandida”
- Iniciação Científica: “Painéis Pré-moldados de Concreto - Traços de Concreto e Argamassa Contendo Vermiculita Expandida: Propriedades Mecânicas”;

Em função da empresa Brasil Minérios Ltda. ser hoje a principal produtora brasileira deste bem mineral, optou-se por estudar o depósito Cerrado III, em lavra no período deste estudo (2004 a 2006). Assim, de modo a também atender o interesse desta empresa surgiu o segundo grande objetivo: o de caracterizar esta vermiculita, de forma a melhorar a compreensão de sua distribuição no corpo mineralizado, assim como seu comportamento nas diversas fases de beneficiamento, já que o comportamento anômalo das palhetas, principalmente em relação à temperatura de esfoliação, tem conseqüências diretas na recuperação do produto quando submetido à expansão em forno industrial.

2. Vermiculita - Características, Aplicações e Panorama Mundial

Descrita pela primeira vez como mineral por Thomas H. Webb em 1824 (Hindman, 1992), a partir de amostra da região de Worcester – Massachusetts – EUA, a vermiculita, graças à sua capacidade de esfoliação, começou a ser explorada comercialmente em 1915 no Colorado – EUA (Costa Filho & Gomes, 1992) e hoje conta com mais de 200 aplicações industriais.

2.1. Características

A estrutura básica da vermiculita é idêntica à do talco e das micas (Figura 2.1), um filossilicato tipo 2:1, composto por duas folhas planas de tetraedros de Si e Al (as folhas tetraédricas), as quais são unidas em uma folha octaédrica de hidróxido de Mg, na qual parte das hidroxilas é substituída pelo oxigênio apical da folha tetraédrica. O que difere as vermiculitas do talco é que este não possui moléculas de água e nem cátions na posição intercamada; enquanto o que as difere das micas é a presença de moléculas de H₂O apenas nas vermiculitas.

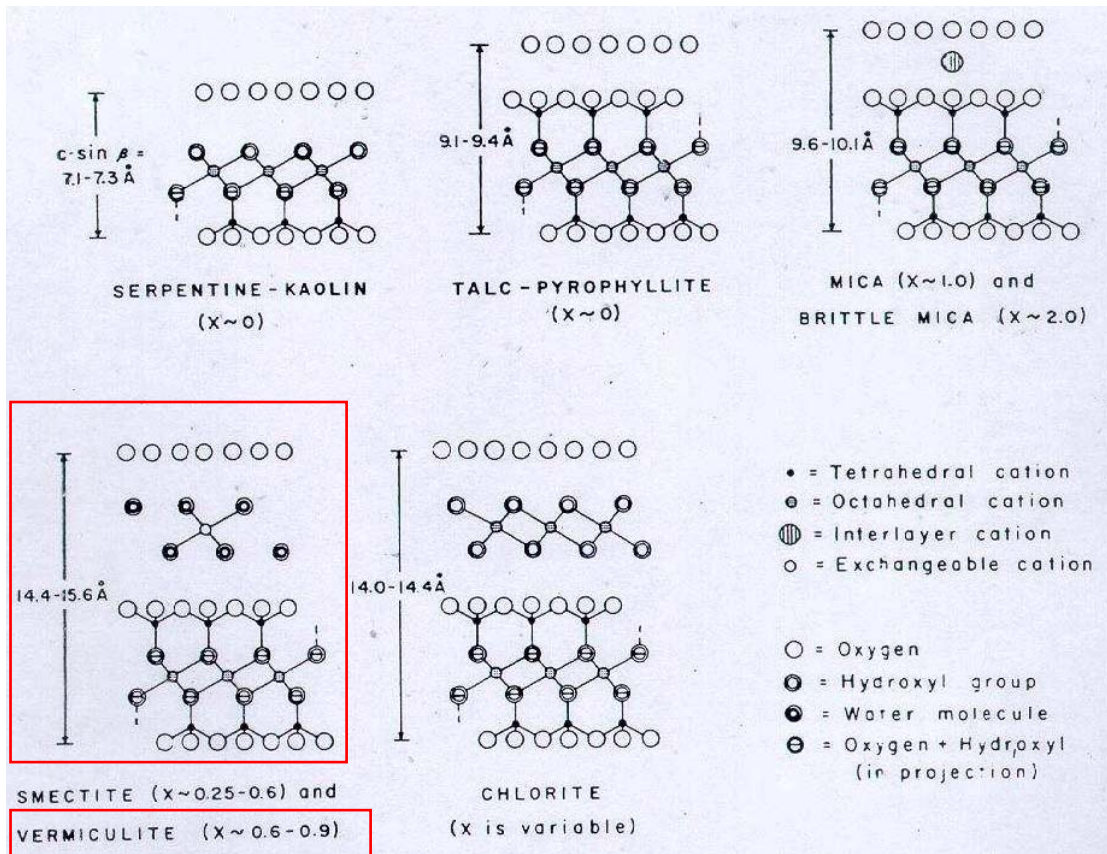


Figura 2.1 - Plano (010) da estrutura dos principais grupos de filossilicatos hidratados, inclusive vermiculita, segundo Bailey (1988).

Segundo a AIPEA (Association Internationale Pour l'Étude des Argiles), a vermiculita compreende um grupo de filossilicatos 2:1 hidratados, com dois subgrupos: a) as trioctaédricas – composição magnésiana; b) as dioctaédricas, menos comuns – composição aluminosa (Bailey, 1980).

Apresentando clivagem basal perfeita, característica dos filossilicatos, a vermiculita é identificada pelas palhetas com cores que variam de incolor, castanha, verde ou preta e que têm a capacidade de se esfoliar. A maioria de suas características físicas e óticas é semelhante à da biotita, com dureza entre 1,5 e 2,5 na escala Mohs e peso específico entre 2,2 e 2,8 (Zussman *et al.*, 1976; Hindman, 1992). Alguns autores defendem que uma forma de distinção da vermiculita em relação à biotita é que a primeira teria o ângulo 2V maior: entre 5 e 15°, para o maior plano de esfoliação, como comprovado por Shirozu e Bailey (1966, *in* De la Calle e Suquet, 1988) para a vermiculita de Llano, e de 18° para a vermiculita de Santa Otalla, descrita por Velasco *et al.* (1981, *in* De la Calle e Suquet, 1988). Entretanto, há autores, como Deer *et al.* (1992), que consideram o 2V das biotitas e flogopitas variando entre 0 e 25°, enquanto o da vermiculita iria de 0 a 18°, portanto é praticamente impossível a separação entre micas e vermiculita apenas por microscopia ótica.

A estrutura da vermiculita determinada por difração de raios-X foi considerada inicialmente como uma cela unitária com espaçamento basal $c=28,57-28,77\text{Å}$, $\beta=97,15^\circ$ atribuída a um mineral trioctaédrico 2:1, contendo planos duplos de moléculas de H₂O no espaço intercamada, semelhante à folha octaédrica desse sítio na clorita (Gruner, 1934 *in* Brindley & Brown, 1980). A presença de cátions intercamadas foi posteriormente evidenciada pela necessidade de balanceamento de cargas da camada 2:1 (Mathieson e Walker (1954), Grudeno (1954) e Mathieson (1958) *in* Brindley & Brown, 1980).

A AIPEA (Bailey, 1998; Brindley & Brown, 1980) considera o seguinte arranjo estrutural: $a \sim 5,35$, $b \sim 9,25$, $c \sim nx14,45$ e $\beta=97,12^\circ$, que caracteriza a estrutura representada por padrões de difração de raios-X com a reflexão principal $d(001)$ em torno de $14,5\text{Å}$, que se mantém constante ou se expande para 16Å , quando submetida a solvatação por glicerol. Sob aquecimento a 490°C esta reflexão se desloca para posição intermediária entre 12 e 10Å .

A AIPEA reconhece a hidrobiotita como um interestratificado regular de camadas alternadas de biotita-vermiculita ($d=10\text{Å}$ e $d=14\text{Å}$, respectivamente), com reflexão 001 em 24Å e 002, bem marcada em 12Å , sem vincular sua origem à biotita. Vários autores, porém, classificam este interestratificado como uma fase intermediária da transformação da biotita para a vermiculita (Coleman *et al.*, 1963 e Wilson, 1970 *in* Wilson, 2004; Moore & Reynolds, 1997; De la Calle & Suquet, 1998).

Entretanto, segundo Hindman (1992) valores de d em torno de 12\AA também podem ser atribuídos a vermiculitas portadoras de bário, estrôncio ou sódio (**Ba**, **Sr** ou **Na** vermiculitas). Por outro lado valores de 10\AA podem ser de vermiculitas com amônia ou fósforo (**NH₄** ou **P** vermiculitas). Ainda segundo este autor, a reflexão em 12\AA , comum em vermiculitas comerciais, freqüentemente atribuída à hidrobiotita, também pode ser atribuída a formas menos hidratadas da vermiculita e não àquele interestratificado.

A presença de vermiculitas com padrões difratométricos anômalos também foi comentada por De la Calle & Suquet (1988), que compilaram estudos de vários autores sobre a variação destes valores, em função do cátion intercâmara presente em sua estrutura (Tabela 2.1).

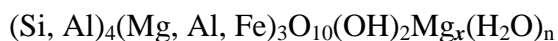
d (001)	Cátion	$n\text{H}_2\text{O}/\text{cátion}$	Empilhamento
14,92 \AA	Ca	6 a 8	V3
14,83 \AA	Na	5,8	V3
14,70 \AA	Ca	---	V5
14,3 \AA	Mg	6	V1
13,8 \AA	Mg	<6	V7
12,21 \AA	Na	---	---
12,20 \AA	Li	2,4	Vb
	Ba	5,6	Vd
12,15 \AA	Sr	4	Ve
11,85 \AA	Sr	3,3	Va
	Na	2	Vc
11,74 \AA	Ca	4	Ve
11,6 \AA	Mg	3	---
10,1 \AA	Li	1	
10,0 \AA	K, Rb, Cs e Ba	---	
9,78 \AA	Sr	---	
9,6 \AA	Na	---	
9,50 \AA	Ca	---	V3

Tabela 2.1 - Empilhamento como função do cátion, espaçamento basal e número de moléculas de água por cátion, modificado De la Calle & Suquet (1988).

Newman & Brown e Norrish (1966 e 1973, *in* De la Calle & Suquet, 1988) defenderam que a oxidação do ferro ferroso octaédrico das micas seria um dos mecanismos de redução da carga de camada durante o processo de vermiculitização. Entretanto, de acordo com Foster (1963, *in* De la Calle & Suquet, 1988) não há uma relação direta entre a redução de carga e o conteúdo de ferro férrico nas vermiculitas, o que implica na existência de outras mudanças da composição, como por exemplo, aquela ligada à reação redox. Este fato também é aceito por Wilson (1980) ao observar que estes dois processos não acontecem concomitantemente, pois a oxidação do Fe^{+2} das micas ocorre no início do processo

intempérico, enquanto a vermiculitização aumenta progressivamente com a continuação do intemperismo.

Segundo De la Calle & Suquet (1988), a fórmula estrutural de uma vermiculita padrão pode ser escrita aproximadamente como se segue:



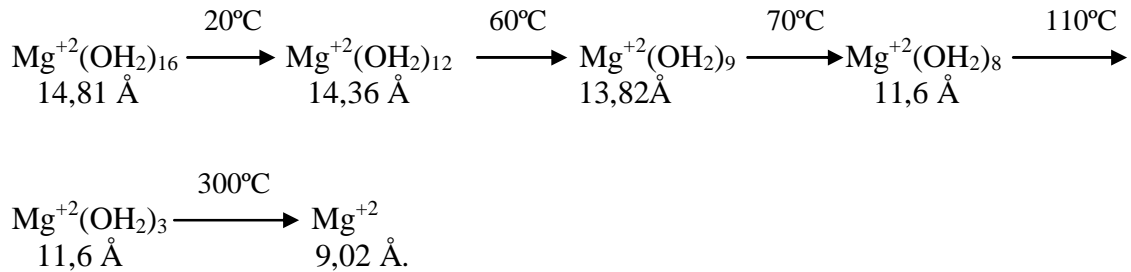
Onde $0,9 > x > 0,6$ e x = carga da camada por unidade de fórmula.

Ainda segundo estes mesmos autores, as vermiculitas macroscópicas são sempre trioctaédricas, isto é, todos os espaços atômicos da folha octaédrica encontram-se, a princípio, ocupados. Porém, se houver uma substituição isomórfica do Mg divalente pelo Fe ou Al trivalente, isso conduz a um excesso de carga positiva, que pode variar de 0,6 a 0,9 por fórmula unitária (AIPEA, 1980). O valor de carga superior a 0,6 por fórmula unitária é utilizado por vários pesquisadores para diferenciar a vermiculita das esmectitas (Brindley & Brown, 1980; De la Calle & Suquet, 1988). A carga octaédrica é neutralizada pela carga negativa proveniente das substituições isomórficas na folha tetraédrica (Si/Al e algumas vezes Si/Fe⁺³). Como a carga negativa da folha tetraédrica é maior do que a carga positiva octaédrica, a camada 2:1 tem uma rede com carga negativa. Para promover a neutralidade elétrica das camadas, existem os cátions intercamadas.

Entre as folhas 2:1 posiciona-se, portanto, o sítio de íons possíveis de serem trocados. Este sítio irá variar de espessura em função do cátion presente na região intercamada e do arranjo das moléculas de água de hidratação presentes nesta região. Segundo De la Calle & Suquet (1988) e Bouchet *et al.* (2000), o íon intercamada mais comum é o Mg, mas Ca e Na são encontrados em algumas camadas. O cátion intercamada original pode facilmente ser trocado por K, Ca, Na, Rb, Cs, Li, NH₄. Segundo De la Calle & Suquet (1988), os cátions Na, Ca, Mg e K podem ser trocáveis entre si, o que não acontece com o conjunto dos cátions K, NH₄, Rb e Cs.

Este grupo de pesquisadores sugere que, como a troca de $\text{K}^+ \leftrightarrow \text{Mg}^{2+}$ é reversível, ela pode ser comprovada em laboratório e com isso pode-se determinar a filiação de uma determinada vermiculita e acreditam que 90% das Mg vermiculitas naturais sejam de filiação de micas trioctaédricas.

Segundo Walker e Cole (1957, *in* Santos, 1992), a água da estrutura cristalina da vermiculita é perdida segundo os seguintes estágios de temperatura, com os espaçamentos basais indicados abaixo e esquematizados na Figura 2.2.



Os diferentes estágios de hidratação da vermiculita promovem, portanto, diferenças no espaçamento intercamadas, culminando com arranjo final equivalente ao das micas, representando ausência total de moléculas de água neste espaço (Figura 2.2).

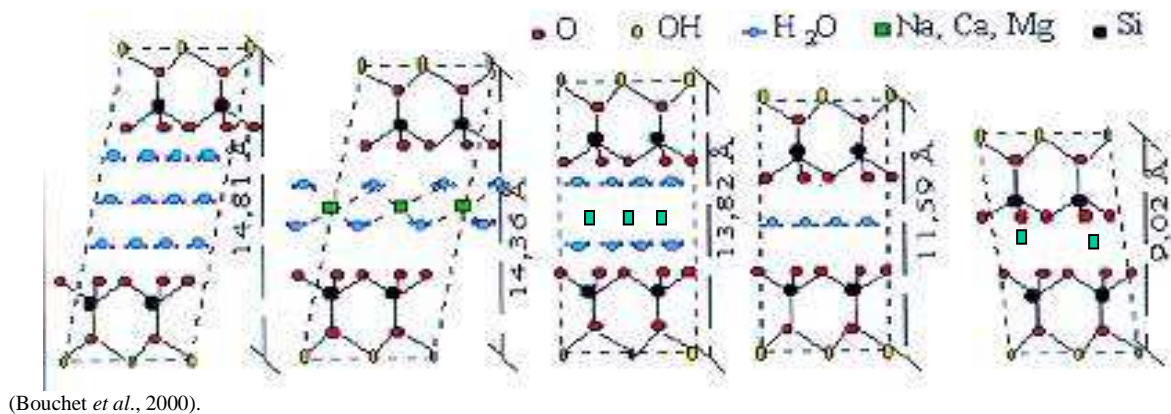


Figura 2.2 - Estrutura Básica da Vermiculita em Diferentes Estágios de Hidratação.

Segundo Myers (1960, *in* Santos, 1992), a água retirada até 150° é reversível, ou seja, pode ser reabsorvida a partir da umidade do meio ambiente e não causa esfoliação. A água removida em torno de 260° é a responsável pela esfoliação da Mg-vermiculita, enquanto que as hidroxilas são removidas apenas a 870°. Este autor afirma, ainda, que esta última água não deve ser totalmente removida nos fornos industriais, pois quando isso acontece há uma grande e indesejável variação nas características físico-mecânicas da vermiculita expandida ou esfoliada. Segundo Ladoo e Myers (1953, *in* Santos, 1992), no processo industrial o forno deve ser controlado de forma a não permitir a redução da água abaixo de 5 a 6 %.

2.2. Aplicações

Segundo a TVA - The Vermiculite Association (TVA, 2005), a propriedade de expansão da vermiculita transforma um concentrado cru de 640-1120 kg/m³ em um produto expandido de baixo peso 64-160 kg/m³. A forma “esfoliada” ou piroexpandida da vermiculita (Figura 2.3) representa sua principal aplicação industrial (Myers, 1960, *in* Santos, 1992 e TVA, 2005).

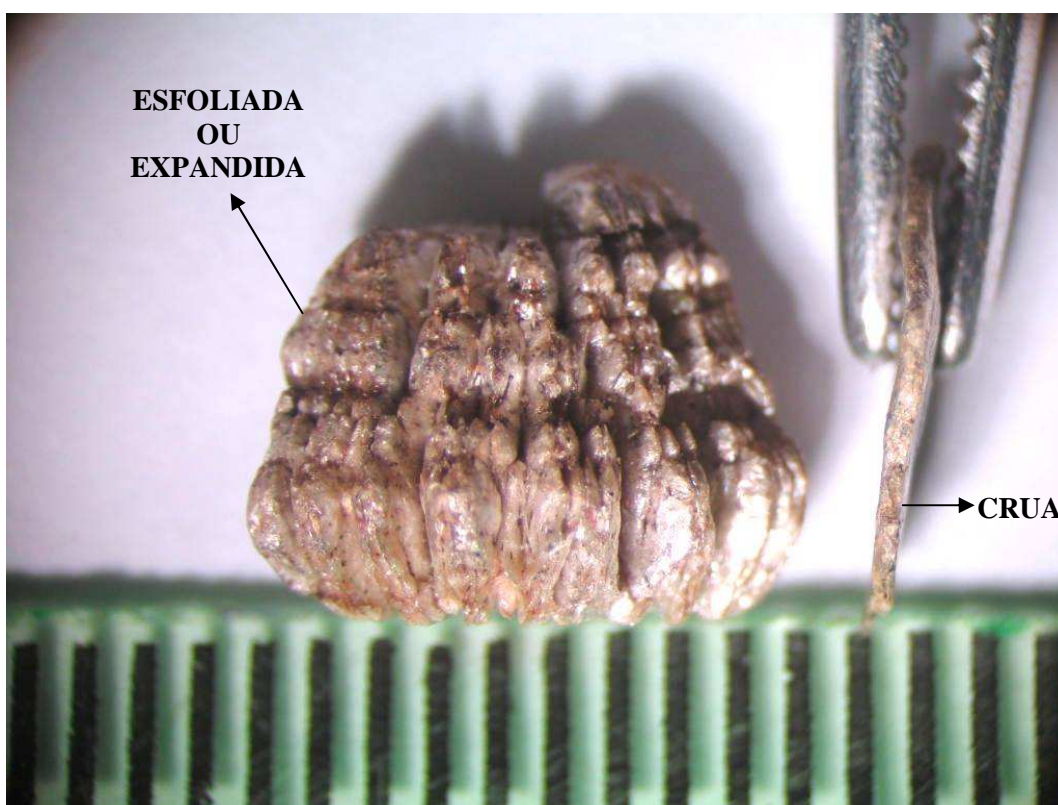


Figura 2.3 - Comparação entre o tamanho de palhetas da vermiculita da Jazida Cerrado III: crua - cerca de 0,8mm e esfoliada - cerca de 8mm.

Na forma expandida, ou esfoliada, a vermiculita, além do baixo peso específico, é inerte biologicamente, é compressível, possui alta capacidade de isolamento acústico e é altamente absorvente, além de possuir uma superfície quimicamente ativa e de poder apresentar elevada capacidade de troca catiônica. A vermiculita possui aplicação em temperaturas no intervalo de -240 a 1100°C, com elevada resistência ao fogo, devido a seu alto ponto de sinterização (1150 a 1250 °C), sendo considerada não-combustível. Em função de todas as qualidades descritas, é utilizada como base para numerosos produtos em diferentes áreas de aplicação (Hindman, 1992 e TVA, 2005):

- ✓ Construção civil:
 - A. Em função de seu baixo peso específico: como carga de estruturas e unidades pré-fabricadas; em blocos de concreto; em concreto leve; - como amortecedor de som; argamassa com gesso;
 - B. Como isolante acústico: em assoalhos, como isolantes em paredes laterais de forros; em divisórias;
 - C. Como isolante térmico: em câmaras de armazenagem a frio; confecção de tijolos refratários;
- ✓ Indústria automotiva: como excelente isolante térmico em pastilhas de freio;
- ✓ Indústria metalúrgica: como proteção de estruturas de aço; esfriamento dentro de peças forjadas; isolantes de peças que trabalham em baixas temperaturas;
- ✓ Indústria Siderúrgica: isolação em fornos de carvão coque e como “hot topping” (cobertura isolante para metais líquidos);
- ✓ Combate a incêndios: fabrico de materiais (roupas, máscaras, escudos, portas-corta-fogo, etc) considerados retardantes de fogo; sistema de extinção de incêndios - usada como pulverizador tipo “spray”;
- ✓ Horticultura e agricultura: largamente utilizada como componente e condicionador do substrato para plantio de mudas para reflorestamento, cultura de fumo e flores; como veículo para fertilizantes e pesticidas; hidroponia;
- ✓ Indústria química: como elementos filtrantes; como carga para aumento na viscosidade de óleos; como carga para produção de texturas em pinturas e revestimentos;
- ✓ Alimentação animal: como veículo em rações peletizadas;
- ✓ Ecologia: na prevenção de danos à atmosfera, auxiliando no controle de poluição por gases e efluentes; acondicionantes de lixo nuclear e outros rejeitos tóxicos; como coletor de petróleo em grandes derrames em lagos e mares;
- ✓ Como nano composto para filmes.

No mundo, assim como no Brasil, a principal utilização da vermiculita, até recentemente, era como isolante térmico e acústico, porém, atualmente, o primeiro lugar em demanda pela vermiculita é para plantio de flores, fumo e reflorestamentos. Neste caso ela é empregada expandida nos substratos e, segundo Sales Luís (1983 *in* Carvalho, 1984), principalmente em função da sua:

1. Capacidade de retenção de água entre as palhetas e liberação gradativa, melhorando a disponibilização de água para a planta;
2. Capacidade de troca catiônica, aumentando a retenção de fertilizantes, na forma iônica, minimizando os efeitos da lixiviação e aumentando a eficiência dos mesmos;
3. Capacidade de reter ar entre as palhetas expandidas, contribuindo para a aeração do solo, facilitando o desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, melhorando as condições de alimentação da planta;
4. Capacidade de ser inócua e não tóxica às plantas e microorganismos;

Comercialmente, os concentrados de vermiculita devem atender à seguinte classificação internacional, segundo a TVA, 2005:

- De 16 a 8mm – concentrado tipo “Prêmio”;
- De 8 a 4mm – concentrado tipo “Large”;
- De 4 a 2mm – concentrado tipo “Médio”;
- De 2 a 1mm – concentrado tipo “Fino”
- De 1 a 0,5mm – concentrado tipo “Superfino”;
- Abaixo de 0,5 mm – concentrado tipo “Micron”.

As características físicas médias dos concentrados de vermiculita crua produzidos pela Brasil Minérios Ltda. estão expostas na Tabela 2.2.

PARÂMETRO	REF.	PRODUTOS				
		ROM	CONCENTRADO MÉDIO	CONCENTRADO FINO	CONCENTRADO SUPERFINO	
MEA	g/ml	0,99	0,79	0,81	0,74	
teor	%	30,78	95,23	88,00	88,23	
CRA	meq *	-	550,67	501,33	567,83	
CTC	mlmol/kg	-	390	530	556	
Granulometria	8 mm	% ret.	1,16	-	-	-
	4 mm	% ret.	4,92	2,41	-	-
	2 mm	% ret.	12,56	86,87	6,14	-
	1 mm	% ret.	13,72	8,19	80,56	13,33
	0,5mm	% ret.	17,06	1,54	11,98	74,48
	0,3mm	% ret.	7,25	0,30	0,69	8,46
	<0,3mm	% ret.	43,40	0,70	0,65	3,69

MEA – Massa Específica Aparente; CRA – Capacidade de Retenção de Água * mg H₂O/100g vermiculita;

Tabela 2.2 - Características e Teores de Vermiculita da Brasil Minérios.

2.3. Principais Depósitos no Mundo

Existem três principais esquemas para classificação dos depósitos de vermiculita:

I. Classificação proposta por Borovikov (1962 *in* Hindman, 1992):

1. Depósitos em rochas de complexos ultrabásicos e alcalinos - Ex: Kovdor e Buldym (Rússia); Palabora (África do Sul); Libby (EUA);
2. Depósitos em complexos de rochas carbonáticas alteradas;
3. Ocorrências de vermiculita em zonas de reação de pegmatitos, associadas a talco, corindon, asbestos e outros depósitos, além de veios metassomáticos em serpentinitos;
4. Depósitos e ocorrências de vermiculita em gnaiss micáceo e outras rochas metamórficas.

II. Classificação segundo Basset (1963 *in* De la Calle & Suquet, 1988):

1. Rochas Máficas e Ultramáficas - Ex: Transvaal, Palabora, West Chester, Tigerville, e Libby, neste último o minério é uma mistura de vermiculita-biotita ou de vermiculita-flogopita e a vermiculita ocorre dispersa no piroxenito;
2. Gnaisses e Xistos - onde a vermiculita ocorre associada a pegmatitos;
3. Rochas Carbonáticas - onde a vermiculita representa o membro final puro, rico em magnésio e pobre em ferro. Ocorre na zona externa de magnesitos, mármore e corpos calcíticos. Ex: Llano;
4. Rochas Graníticas - As vermiculitas deste grupo são pequenas e geralmente impuras, representando um interestratificado de biotita-vermiculita. Ex: Ronquillo e Real de la Jará, Sevilha-Espanha.

III. Classificação de Bush (1976 *in* Hindman, 1992 e Gosen *et al.*, 2002):

1. Depósitos formados dentro de grandes intrusões ultramáficas, como plutons piroxeníticos, cortados por sienitos ou granitos alcalinos; pegmatitos e rochas carbonáticas. Ex: Libby (Montana - EUA) e Palabora (África do Sul);
2. Depósitos associados a intrusões ultramáficas pequenas, como dunitos e peridotitos e piroxenitos não-zonados, cortados por pegmatitos e rochas

sieníficas ou graníticas. Ex: Smith (Wyoming - EUA) e Addie (Carolina do Norte - EUA) e depósitos no Egito;

3. Depósitos em rochas metamórficas a partir de ultramáficas, como biotita xistos e anfibólio xistos. Ex: Enoree (Carolina do Sul - EUA) e Dillon (Montana - EUA), além da maioria dos depósitos no Colorado, Nevada, Texas e Wyoming (Hindman, 1992).

Tanto a forma de ocorrência dos principais depósitos, quanto a origem destas vermiculitas são as mais diversas possíveis, como mostrado na Tabela 2.3. Nele estão agrupados alguns dos principais depósitos de vermiculita do mundo, quando foi possível a obtenção da informação.

Dos depósitos pesquisados apenas algumas ocorrências do Maciço da Bohêmia – Áustria, descritos por Götzinger (1987) e o Depósito de Hafafit no Egito, descrito por Amin e Afia (1954), apresentam vermiculita originada a partir da ação de soluções hidrotermais sobre anfibólios. No primeiro caso as rochas mineralizadas são máfico-ultramáficas e no segundo caso a mineralização ocorre na área de influência de diques feldspáticos que cortam massas de serpentinas em gnaisses.

DEPÓSITOS NO MUNDO	LOCAL	CONTEXTO GEOLÓGICO	CLASSIFICAÇÃO	FORMAÇÃO DA VERMICULITA
PALABORA	África do Sul	complexo carbonatítico	Tipo 1 (Borovikov, Basset e Bush)	intemperismo sobre flogopita
LIBBY (desativado)	MT-USA	rochas ultramáficas cortadas por sienitos e granitos.	Tipo 1 (Borovikov, Basset e Bush)	intemperismo sobre biotita
TIGERVILLE	S.C.-USA	Contato serpentinito/encaixante e fraturas na rocha ultramáfica	Tipo 3 (Borovikov) e tipo 2 (Basset)	intemperismo sobre biotita
		intemperismo sobre biotita xistos e biotititos	Tipo 4 (Borovikov) e tipo 3 (Bush)	intemperismo sobre biotita
LLANO	TX-USA	mármore dolomítico e magnésítico	Tipo 2 (Borovikov) e Tipo 3 (Basset)	intemperismo sobre flogopita
SANTA OTALLA	Espanha	skarns magnesianos	Tipo 2 (Borovikov) e Tipo 3 (Basset)	intemp. ou hidrotermalismo tardio sobre flogopita
BENAHAVIS	Espanha	veios em serpentinitos	Tipo 3 (Borovikov)	ND
KAPIRIKAMODZI	Malawi	ultrabásicas metamorfasadas de alto grau, intrudidas em gnaisses e granulitos	Tipo 2 (Bush)	hidrotermalismo sobre biotita
KENYA	Quênia	contatos dunito-pegmatitos e xisto cristalino	Tipo 3 (Borovikov) e tipo 2 (Basset)	intemperismo sobre biotita
HAFAFIT	Egito	paredes de diques feldspáticos que cortam massas de serpentinas dentro de gnaisses.	Tipo 3 (Borovikov) e tipo 2 (Bush)	hidrotermalismo sobre anfibólios
NAMEKARA	Uganda	complexo carbonatítico	Tipo I (Borovikov, Basset e Bush)	intemperismo sobre biotita e flogopita
SHAWA	Zimbábue	complexo carbonatítico	Tipo 1 (Borovikov, Basset e Bush)	ND
MUD TANK	Austrália	complexo carbonatítico	Tipo I (Borovikov, Basset e Bush)	ND
KOVDOR	Rússia	carbonatito	Tipo I (Borovikov, Basset e Bush)	intemperismo sobre flogopita
PRAISSAC	França	contato gnaiss - serpentinito	Tipo 2 (Bush)	ND
BHEMIAN MASSIF	Áustria	nos halos de reação de veios de plagioclasitos em peridotitos-serpentinitos	Tipo 3 (Borovikov) e tipo 2 (Bush)	hidrotermalismo sobre anfibólios
		em fraturas nos peridotitos-serpentinitos	Tipo 3 (Borovikov) e tipo 2 (Bush)	hidrotermalismo sobre anfibólios
		em material sedimentar (elúvios)	xxxx	apenas hidrobiotita
DEPÓSITOS NO BRASIL	LOCAL	CONTEXTO GEOLÓGICO	CLASSIFICAÇÃO	FORMAÇÃO DA VERMICULITA
CERRADO III	GO - Brasil	peridotitos e piroxenitos hidrotermalizados	Tipo 1 (Borovikov, Basset) e Tipo 2 (Bush)	hidrotermalismo sobre anfibólios
ENGENHOCA I	GO - Brasil	peridotitos e piroxenitos hidrotermalizados	Tipo 1 (Borovikov, Basset) e Tipo 2 (Bush)	hidrotermalismo sobre anfibólios
PAULISTANA	PI - Brasil	ultramáficas metamorfasadas	Tipo 4 (Borovikov), Tipo 3 (Basset e Bush)	intemperismo sobre flogopita
AURIMAMÃ	PE - Brasil	biotititos e gnaisses cortados por pegmatitos feldspáticos	Tipo 3 (Borovikov) e Tipo 2 (Basset)	intemperismo sobre biotita
CATALÃO	GO - Brasil	complexo carbonatítico	Tipo 1 (Borovikov, Basset e Bush)	intemperismo sobre flogopita

ND: não disponível.

Tabela 2.3 - Principais Depósitos do Mundo e do Brasil, com a Classificação e Origem da Vermiculita.

2.4. Principais Depósitos no Brasil

No Brasil, a primeira jazida de vermiculita a ter registro de concessão de lavra no DNPM foi a de Congonhal, no Município de Tatuí-SP. A pesquisa se iniciou em 1949 e a lavra em 1954, tendo sido paralisada no final de 1972, por questões técnico-econômicas (Costa Filho & Gomes, 1992).

O Brasil possui diversas ocorrências de vermiculita, porém as que são, ou têm potencial para serem jazidas são poucas e minas em produção menos ainda, conforme dados de 2003, fornecidos pelo DNPM/PI (Cavalcanti, 2003):

- ✓ Fazenda Santa Maria – Sanclerlândia–GO – Brasil Minérios Ltda.
- ✓ Fazenda Santa Maria – São Luís de Montes Belos–GO – Brasil Minérios Ltda.
- ✓ Fazenda Massapé – Paulistana–PI – Eucatex Química e Mineral Ltda.
- ✓ Município de Santa Luzia–PB – Min. Pedra Lavrada Ltda.
- ✓ Município de Santa Maria da Boa Vista–PE – Aurimamã Mineração Ltda.
- ✓ Fazenda Curralinho - Brumado–BA – Mineração Phoenix.

Neste subitem serão detalhados apenas dois importantes depósitos brasileiros, o de Paulistana-PI e o de Catalão-GO. O depósito Cerrado III, pertencente à área da Fazenda Santa Maria, Município de Sanclerlândia, será descrito no subitem 3.2.1 do próximo capítulo.

2.4.1. Fazenda Massapé - Paulistana - PI

A jazida, de concessão da Eucatex Química e Mineral Ltda., é constituída por um corpo de rochas básicas/ultrabásicas, admitido como intrusivo em xistos granatíferos, com de forma aproximadamente elíptica, sendo correlacionado a um magmatismo pós-orogênico, de idade Eocambriana. A origem do depósito é admitida como alteração das micas biotita e flogopita para vermiculita, por processo intempérico, através da lixiviação dos álcalis. A principal rocha hospedeira é o biotita-flogopita-diopsídio-xisto, sendo que as rochas na cava são: actinolítico; biotita-diopsídio-xisto, biotita-flogopita-diopsídio-xisto, biotita-flogopita-xisto, biotita-hornblenda-xisto, Tonalito (Costa Filho & Gomes, 1992).

Paragênese: biotita, vermiculita, flogopita, clinopiroxênio, (25%), álcali-feldspato (12%), anfibólio (8%) e apatita (5%), além de alguns acessórios em pequena quantidade como titanita, calcita e alguns opacos.

A vermiculita ocorre, ainda, associada à rocha básica sob a forma de veios pegmatóides, apresentando os mesmos minerais que os da rocha básica, porém com teores menores. Nestes veios a vermiculita se apresenta em grandes placas (10 a 15 cm) de cor amarela a verde bronze, atingindo 60% do total dos minerais, para 30% de anfibólios e piroxênios e 10% para biotita, caulim e quartzo (Costa Filho & Gomes, 1992).

2.4.2. Catalão I - Catalão/Ouvidor - GO

O maior depósito conhecido de vermiculita no Brasil, Catalão I, se situa na porção nordeste do Complexo Ultramáfico-Alcalino-Carbonatítico de Catalão, localizado no sudeste do estado de Goiás, no Município de Ouvidor, Comarca de Catalão, a 15 km desta cidade. O Complexo foi intrudido no Cretáceo Superior (~85 Ma), em metassedimentos do Grupo Araxá de idade neoproterozóica (Hasui *et al.*, 1968 e 1970 *in* Valarelli, 1971). Os direitos minerários desta área pertencem à METAGO e suas reservas são da ordem de 10,6 milhões de toneladas com teor de 20% de vermiculita com palhetas > de 0,5mm (Barbalho, 1999).

A intrusão de múltiplas fases carbonatíticas, que possibilitou o carbonatito magmático se cristalizar em cinco estágios bem definidos caracterizados por eventos magmáticos e pneumatolíticos-hidrotermais (Baecker, 1983), promoveu a alteração das rochas originais do Complexo da seguinte forma: dunitos e foscoritos em flogopititos e de clinopiroxenitos em flogopititos e clinopiroxenitos sódicos (Araújo, 1996).

Em Catalão I, a vermiculita originou-se a partir da flogopita, através de processos supergênicos e pode ser encontrada em um perfil de alteração que, em alguns locais, pode chegar a 100m de profundidade (Pereira, 1995).

A paragênese mineralógica de Catalão I é extensa e complexa, podendo-se citar, em função da gênese, segundo Valarelli, 1971:

- ✓ Minerais residuais das intrusivas alteradas: titano-magnetita, ilmenita, pirocloros, perovskita, barita, apatitas, feldspato alcalino (anortoclásio), piroxênio, anfibólio, calcita, olivina, monazita, clorita e micas (biotita e flogopita);
- ✓ Minerais residuais *transformados* por processos supergênicos: titano-maghemita, ilmeno-hematita, pandaíta, serpentina, vermiculita, rabdofanita, leucoxênio, fosfatos de terras raras e wilkeita;
- ✓ Minerais formados totalmente por processos supergênicos: goethita (limonita), anatásio, parte da barita, parte do quartzo, argilas (caulinita, esmectita), leucoxênio, ancylita e fosfatos secundários.

A extensa paragênese de Catalão I foi também citada, porém de forma mais localizada, por Baecker (1983) Pereira (1995), Araújo (1996) e Lenharo & Guimarães (2002).

2.4.3. Panorama do Mercado Mundial de Vermiculita

Atualmente a maior jazida de vermiculita em produção do mundo é a de Palabora na África do Sul, seguida por várias jazidas dos Estados Unidos, estando a China em terceiro lugar e em quarto lugar o Brasil (Tabela 2.4).

LOCAL	RESERVAS (x1000t) (1)	PRODUÇÃO (x1000t)	
		2004	2005
África do Sul	80.000	195	200
EUA	100.000	100	105
China	ND	100	100
Brasil	23.000	26,8	35
Zimbábue	ND	27	25
Rússia	ND	25	25
Outros países	20.000	37	39
TOTAL	223.000	510	522

Fonte: DNPM - Sumário Mineral Brasileiro, 2006

(1) Inclui reservas medidas e indicadas; **ND** - Não disponível.

Tabela 2.4 - Reservas e Produção Mundial de Vermiculita

No Brasil, as reservas dos principais depósitos brasileiros encontram-se na Tabela 2.5. Atualmente, apenas quatro jazidas encontram-se em produção, como mostra a Tabela 2.6, com dados de 2004.

ESTADO	MUNICÍPIO	RESERVAS					
		MEDIDAS		INDICADAS		INFERIDAS	
		Minério (t)	Teor (% Verm)	Minério (t)	Teor (% Verm)	Minério (t)	Teor (% Verm)
BAHIA	Brumado	1.647.809	55,00	1.612.265	55,00	270.000	100,00
GOIÁS	Ouvidor	5.257.402	3,53	2.716.652	8,88	1.280.124	18,30
	Sanclerlândia	1.060.631	26,00	207.254	25,03	ND	ND
	Santa Fé de Goiás	6.900	12,60	ND	ND	ND	ND
	São Luís de Montes Belos	482.238	23,74	85.255	24,98	114.527	24,97
PARAÍBA	Santa Luzia	1.976.018	33,87	596.233	27,67	115.752	25,92
PIAUI	Paulistana	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Queimada Nova	383.591	100,00	ND	ND	393.600	100,00
S. PAULO	Iperó	65.272.500	4,21	31.635.000	8,68	ND	ND

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro – 2005.

Tabela 2.5 - Reservas dos principais depósitos de vermiculita no Brasil, no ano de 2004.

LOCAL	EMPRESA	QUANTIDADE (t)	VALOR (R\$)
BA	Mineração Phoenix	658	25.759,00
GO	Brasil Minérios Ltda.	15.366	2.540.933,00
PB	Mín. Pedra Lavrada Ltda.	189	29.654,00
PI	Eucatex Química e Mineral Ltda.	10.597	1.504.358,00
Total Brasil		26.810	4.100.703,00

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro – 2005.

Tabela 2.6 - A produção de vermiculita no Brasil no ano de 2004.

Dados do Sumário Mineral Brasileiro de 2006 indicam que 76% da produção nacional de vermiculita no ano de 2005 foram absorvidos pelo mercado interno, porém esta quantidade foi insuficiente para suprir nossas demandas. Por este motivo, o Brasil importou vermiculita de diversos países, sendo o principal os Estados Unidos (34%), seguido pela Argentina (28%). O total importado de vermiculita no ano de 2005 foi: de 1.771t (crua) e 954t (expandida). Ao mesmo tempo, o DNPM relaciona exportações, para aquele ano, de 593t (expandida). Estes números devem ser vistos com ressalva, uma vez que o DNPM possui apenas dois grupos em seus levantamentos estatísticos: vermiculita crua associada a clorita; e vermiculita expandida associada a argila também expandida.

3. Contexto Geológico

3.1. Geologia Regional

O estudo dos compartimentos tectônicos da América do Sul levou Almeida (1977 *in* Lacerda *et al.*, 1999) a individualizar dez províncias estruturais no Brasil, dentre as quais estão as do Paraná, São Francisco e Tocantins, que abrangem o Estado de Goiás.

A região de interesse do atual estudo pertence à Província Estrutural do Tocantins, que se posiciona entre os crátons do São Francisco, Amazônico, Paranapanema e Sudoeste (encoberto pelas rochas da Bacia do Paraná). É formada por terrenos de idades variadas, estabilizados no final do Ciclo Brasileiro entre 930 e 550 Ma.

Inclui-se neste contexto a sedimentação de seqüências terrígenas e carbonatadas em ambientes plataformais, formação de terrenos tipo arco de ilha, com magmatismo associado, metamorfismo, deformação e a fusão de diferentes terrenos às margens continentais.

As unidades geológicas associadas a essa província são representadas por espessas seqüências de rochas supracrustais dobradas e metamorfizadas (Faixas Brasília/Araguaia/Paraguai); por terrenos arqueanos granito-gnáissicos, contendo seqüências vulcanosedimentares do tipo “Greenstone Belt” e por cinturões granulizados no Ciclo Brasileiro.

Fuck *et al.* (1993) e Fuck (1994) propuseram uma revisão da subdivisão anteriormente existente para a Província Tocantins, apresentando uma estruturação Neoproterozóica, para a Faixa Brasília e retiraram do Maciço Mediano de Goiás uma faixa de acreção crustal, que constitui o Arco Magmático do Oeste de Goiás. Lacerda Filho *et al.* (1999) estabeleceram, com base nesta proposta, a subdivisão da Província Tocantins no Estado de Goiás, como segue:

- I. Terreno Granito-Greenstone e Rift Intracontinental, representando as entidades mais antigas, de idade arqueana e paleoproterozóica, respectivamente, com rochas envolvidas em processos tectônicos brasileiros;
- II. Faixas de Dobramentos, Arco Magmático de Goiás e Coberturas Cratônicas, associadas ao ciclo brasileiro, de idade meso a neoproterozóica;
- III. Cobertura Fanerozóicas: representadas por sedimentos pertencentes às Bacias do Paraná (porção sudoeste do Estado) e do São Francisco (extremo leste do Estado).

IV. Sedimentos das Formações Superficiais: representando os sedimentos recentes fluvio-lacustres arenosos e areno-argilosos;

A área em estudo se situa no âmbito dos terrenos do Arco Magmático de Goiás, e o minério de vermiculita ocorre associado a corpos máfico-ultramáficos pertencentes à Suite Máfico-Ultramáfica do Tipo Americano do Brasil (Olivatti, 2003), de idade neoproterozóica (Fuck *et al.*, 1993).

3.1.1. Arco Magmático de Goiás (Neoproterozóico)

Constitui um segmento de crosta juvenil caracterizado por um sistema de arcos neoproterozóicos, situado na porção central da Província Tocantins (Pimentel *et al.*, 1991; Fuck *et al.*, 1993 e Fuck, 1994)

Segundo Fuck *et al.* (2006) o Arco Magmático de Goiás de idade neoproterozóica, entre ca. 890 Ma e ca. 576 Ma e constitui uma faixa de acreção crustal que representa a crosta menos espessa da Província Tocantins (Fuck, *et al.*, 2005). É constituído por: ortognaisses; seqüências vulcano-sedimentares e intrusivas graníticas; e intrusivas máficas-ultramáficas. A maior parte do arco é representada por rochas metaplutônicas dioríticas a graníticas, intercaladas por faixas estreitas de rochas metavulcânicas e metassedimentares típicas de arco de ilhas (Figura 3.1), com direções estruturais regionais entre NNE-NNW (Pimentel *et al.*, 2004).

Este compartimento geotectônico, posicionado na porção oeste da Faixa Brasília, limita-se a norte pela Bacia Sedimentar do Parnaíba, a oeste com os sedimentos quaternários da bacia do rio Araguaia; a sul pela cobertura sedimentar da Bacia do Paraná. Separando em dois segmentos o Arco Magmático, são encontrados preservados terrenos granito-greenstone de idade arqueana preservados na região de Goiás e Crixás.

3.1.1.1. Ortognaisses/Granitóides

Ocorrem associadas ao arco magmático intrusões de granitóides tardi a pós-orogênicos, de idade neoproterozóica a ordoviciana (Pimentel & Fuck, 1987 *in* Lacerda Filho *et al.*, 1999), compostas por três tipos principais de rochas graníticas, conforme caracterizam as descrições de Pimentel e Fuck (1997) e Lacerda e Lacerda Filho (1994).

- Ortognaisses cálcicos a cálcio-alcálicos – hornblenda e biotita gnaisses e metagranitóides (*e.g.*: gnaisses de Arenópolis, Sanclerlândia, Matrinxã, Firminópolis, Turvânia, Mara Rosa e o granitóide de Choupana);
- Granitos Miloníticos – ocorrem como estreitos corpos alongados segundo NNW-NNE da região oeste de Goiás (*e.g.*: granitos Macacos, Serra do Tatu);
- Granitos tardi a pós-tectônicos – de natureza calci-alcálica, representados por álcali-granitos, hornblenda-biotita granitos, granitos pórfiros e hornblenda monzonitos, sienogranitos Serra Negra, Serra do Irã Serra do Impertinente, Fazenda Nova, etc.

3.1.1.2. Seqüências Vulcano-Sedimentares

Estas seqüências, de idade neoproterozóica, ocorrem em estreitas faixas alongadas entre NNW e NNE. As associações vulcano-sedimentares do Arco Magmático de Goiás recebem o nome das cidades existentes nas suas proximidades, como: Seqüência Bom Jardim de Goiás; Arenópolis – Piranhas; Iporá-Amorinópolis; Jaupaci e Mara Rosa.

Estas sequências foram definidas, respectivamente, pelos seguintes autores, a saber: Seer & Nilson (1985); Pimentel & Fuck (1986); Amaro (1989) e Moreton (1997) *in* Lacerda *et al.* (1999).

Estas seqüências possuem composição predominantemente máfico-ultramáfica toleítica na base, passando para um pacote de rochas vulcânicas intermediárias a ácidas, de natureza calci-alcálica, associadas a tufos e são, frequentemente, intercaladas com rochas metasedimentares, ocorrendo na porção superior destas seqüências sedimentos terrígenos e químicos. As rochas dessas seqüências estão metamorfisadas no fácies xisto verde a anfíbolito.

Geralmente, o contato destas seqüências com as encaixantes é feito através de falhas, sendo que as rochas foram afetadas por cisalhamento dúctil-rúptil, com alteração hidrotermal associada.

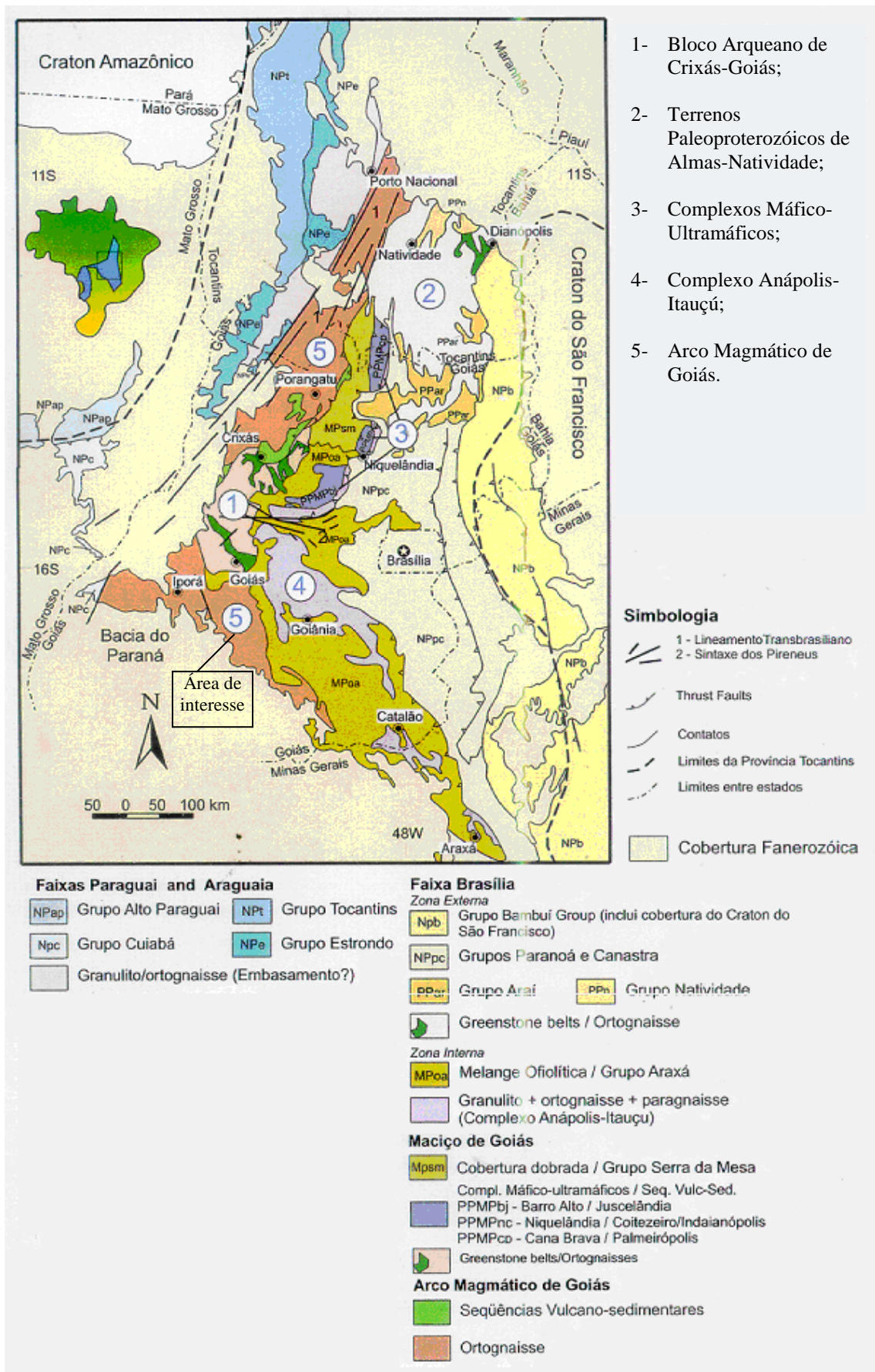


Figura 3.1 - Mapa geológico simplificado da porção centro-leste da Província Tocantins, modificado de Pimentel *et al.*, 2004.

A Sequência Vulcano-Sedimentar de Mara Rosa, definida por Wilson Filho (1981 *in* Lacerda *et al.*, 1999) possui forma de ocorrência distinta das demais. Situa-se na região noroeste do Estado de Goiás, onde foram identificadas importantes faixas vulcano-sedimentares, de direção preferencial NNE, de idade neoproterozóica (Fuck, 1994; Viana *et al.*, 1995; Pimentel *et al.*, 1997). Esta Sequência está metamorfisada no fácies xisto verde alto a anfibolito, sendo representada por faixas vulcânicas e faixas sedimentares, separadas por terrenos gnáissicos, de composição tonalítica a granodiorítica. Corpos graníticos cortam estas litologias (Viana *et al.*, 1995).

A Sequência Mara Rosa contém o depósito de cobre de Chapada, que é interpretado como sendo do tipo vulcanogênico exalativo (Kuyumjian, 1995 e 1998 *in* Lacerda Filho *et al.*, 1999) ou como um depósito do tipo “cobre pórfiro” (Richardson *et al.*, 1986 *in* Lacerda Filho *et al.*, 1999).

Nesta Sequência também se encontram importantes depósitos de ouro: Posse e Zacarias - já extintos e Fazenda Nova - em exploração; além da província esmeraldífera de Campos Verdes.

3.1.1.3. Suíte Máfico-Ultramáfica Tipo Americano do Brasil.

Compreende um conjunto de corpos máfico-ultramáficos encaixados nos terrenos gnáissicos do Arco Magmático e localizam-se na região central do Estado de Goiás, a sul da Serra Dourada. Esses corpos ocorrem ao longo de uma zona de cisalhamento e se dispõem sob a forma de um arco, com a concavidade voltada para sul, posicionados tectonicamente entre as fatias e/ou faixas de rochas supracrustais da Sequência Metavulcano-Sedimentar de Anicuns-Itaberaí e os biotita-horblenda gnáisses do Complexo Granito Gnáissico do Arco Magmático de Goiás (Lacerda Filho *et al.*, 1999). Os corpos mais expressivos dessa unidade são os de Americano do Brasil, Mangabal I e II, Fronteira do Norte, Adelândia, Água Fria e São Luís de Montes Belos/Sanclerlândia.

Associadas aos Complexos de Americano do Brasil e Mangabal ocorrem mineralizações sulfetadas de cobre e níquel e as mineralizações de vermiculita ocorrem associadas aos corpos de São Luís de Montes Belos/Sanclerlândia.

3.1.1.3.1. Complexo de Americano do Brasil

O Complexo Máfico-Ultramáfico de Americano do Brasil, de idade 612 ± 66 Ma com razão inicial ϵ_{Nd} de 3,1 (Nilson, 1997 *in* Lacerdo Filho, 1999), foi descoberto em trabalho final de graduação do então Departamento de Geologia da Universidade de Brasília (Danni *et al.*, 1973 *in* Nilson, 1981). É formado por dunitos parcialmente serpentinizados, peridotitos, gabros, e dioritos nas bordas. Estes corpos geralmente exibem bordas deformadas com núcleo pouco deformado, exibindo texturas primárias tipo cumulus e acamamento ígneo. São metaforfisadas no fácies anfíbolito ou xisto verde.

Estudos petrológicos indicam cristalização de magma basáltico, em câmara magmática sob alta pressão de água em ambiente de arco de ilha (Nilson, 1981), (Nilson, 1984; Nilson *et al.* 1982 e 1997 *in* Lacerda Filho *et al.*).

A mineralização ocorre sob a forma de sulfetos maciços associados a dunitos, peridotitos. Já a mineralização de sulfetos disseminados associa-se a noritos-piroxenitos.

Os sulfetos são pirrotita (65–70%), pentlandita, calcopirita, pirita e cubanita, contendo intercrescimentos de espinélio cromífero, magnetita cromífera e magnetita normal.

3.1.1.3.2. Complexos de Mangabal I e II

Definidos por Dani *et al.* (1973 *in* Cândia, 1983) compreendem dois pequenos corpos máficos-ultramáficos diferenciados, de filiação toleítica, localizados 10 km a sul de Sanclerlândia.

Datações realizadas em diabásios deste Complexo indicam idades isocrônicas K/Ar de 612 ± 8 Ma

Constituem-se por peridotitos, gabronoritos, olivinagabros, anfibólio xistos, cataclasitos e milonitos (Pfrimer *et al.*, 1.981; Cândia, 1.983). O corpo Mangabal II faz contato com espesso pacote de calcossilicatadas das seqüências metavulcanosedimentares do Arco de Goiás.

Segundo Cândia (1983), a evolução dos Complexos Mangabal I e II aconteceu em duas etapas distintas: a primeira relacionada à evolução ígnea dos corpos e, a outra, subsequente, desenvolvida em estágios pós-ígneos, expressa por deformações tectônicas observadas nos corpos e pela recristalização dos complexos, que podem ter ocorrido em condições físico químicas de metamorfismo médio a alto grau a $700-800$ °C e pressão de 6 a 6,5 kbar (Cândia, 1983).

Segundo Pfrimer (1981) as mineralizações de Cu, Ni e Co estão associadas a veios remobilizados, que preenchem fraturas nas rochas do Complexo.

3.1.1.3.3. Complexos de São Luís de Montes Belos/Sanclerlândia

Os corpos localizados nessa região estão encaixados, por processos tectônicos, em ortognaisses bandados de composição granítica a diorítica (Baêta Jr., 1999 *in* Lacerda Filho *et al.*, 1999). Os corpos são constituídos por rochas máfico-ultramáficas (metagabros, anfibolitos, peridotitos e piroxenitos), geralmente cortados por diques de pegmatito ácido. A mineralização desenvolveu-se na região de contato da intrusão com a sua encaixante. A porção central desses corpos é marcada pela presença de rochas máfico-ultramáficas menos transformadas do que nas bordas, como piroxenitos e peridotitos.

Como se trata da área em estudo a mineralogia e a geologia local serão detalhadas a seguir (capítulo 3.2, subitem 3.2.1).

3.2. Corpos Máfico-Ultramáficos Mineralizados a Vermiculita da Região de Sanclerlândia/São Luís de Montes Belos

São corpos localizados a sul do Arco da Serra Dourada, entre a Serra de São Luís e o Rio Fartura, nos municípios de São Luis de Montes Belos e Sanclerlândia. Até o momento são conhecidas cerca de duas dezenas de corpos máfico-ultramáficos mineralizados a vermiculita. Foram posicionados por processos tectônicos no hornblenda-biotita gnaiss, como zonas de cisalhamento ou lascas tectônicas (Olivatti, 2003). Possuem características gerais muito semelhantes entre si, porém existem particularidades inerentes a cada corpo.

Apesar de pertencerem à Suíte Americano do Brasil, os corpos mineralizados a vermiculita aflorantes nesta região diferem dos complexos Americano do Brasil, Mangabal, Fronteira e outros da mesma família (Figura 3.2), por não apresentarem mineralizações de sulfetos, por serem de menor porte e sua paragênese mineral sugere expressiva contribuição de processos hidrotermais (Teixeira *et al.*, 2006).

Os cerca de 20 pequenos corpos de natureza máfica-ultramáfica, conhecidos nesta região, possuem, de modo geral, forma elíptica e dimensões que variam de 1200 a 1000m na diagonal maior (Olivatti, 2003) e estão, geralmente, associados a mineralizações de vermiculita. A orientação preferencial destes corpos é NE e WNW, ocorrendo corpos N/S, dependendo de condicionamentos tectônicos locais. A distribuição destes corpos não é

uniforme ao longo de toda área, mas sim em agrupamentos locais, sob a forma de “trends”, como aquele situado próximo ao Ribeirão Fatura, onde foram cartografados os corpos Aldeia Maria I, II, III e IV e Morro da Lavra, formando um arco de cerca de 3 km (Figura 3.3). Já, os corpos Cerrado I, II e III e Ribeiro I e II entre outros, embora pertencentes a este conjunto, apesar de aparentemente obedecerem ao mesmo condicionamento estrutural, não existem dados suficientes, até o momento para esta afirmação. O pequeno tamanho dos corpos, associado à falta de afloramentos expressivos e de estrutura observável em tratamentos por imagem, certamente contribuem para esta dificuldade.

Próximos ao Povoado de São Pedro ocorrem os corpos Morro Pelado I, II e III, compondo um “trend” N/S, paralelo à direção da falha de São Luís (Teixeira *et. al.*, 2006).

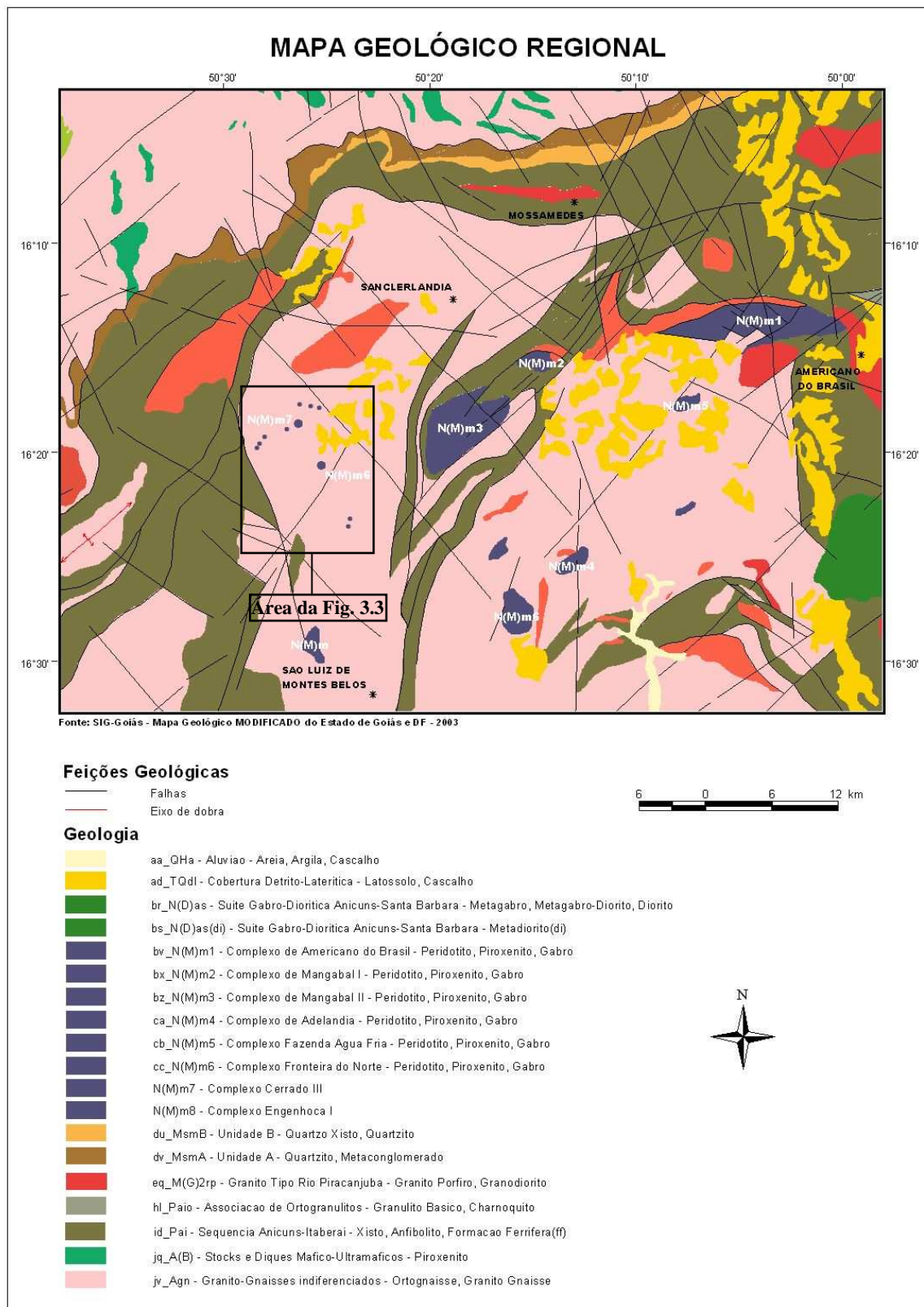


Figura 3.2 - Mapa Geológico Regional, com a Área de Distribuição dos Depósitos de Vermiculita.

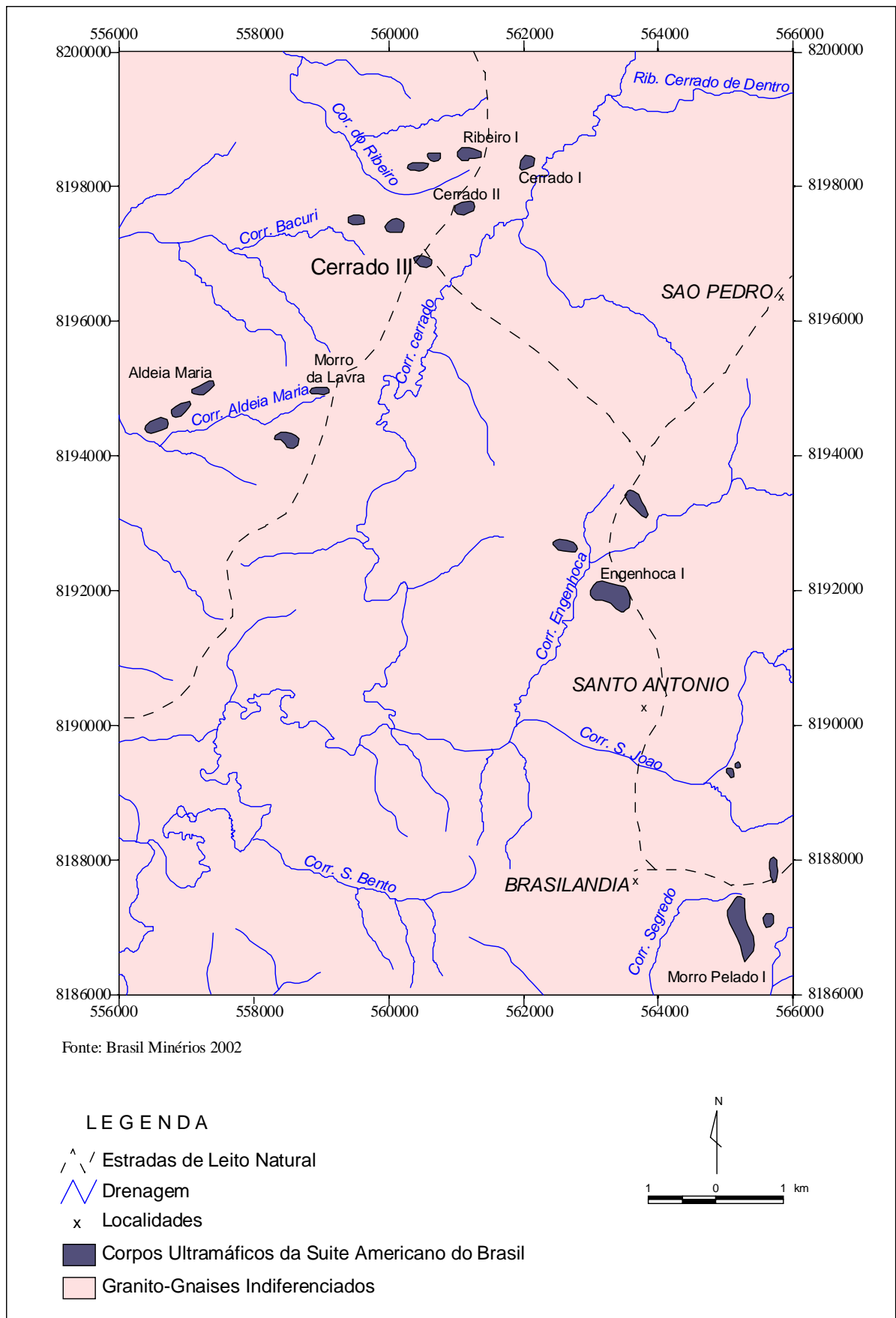


Figura 3.3 - Detalhe da Área dos Depósitos de Vermiculita

As mineralizações ocorrem preferencialmente associadas a uma faixa subsequente ao contato dos corpos intrusivos com as rochas encaixantes hornblenda-biotita gnaisses, localmente migmatitos, atualmente em diferentes níveis de caulinição. A espessura da faixa mineralizada varia de 10 a 200 metros da borda para o centro dos corpos, prolongando-se em profundidade. Em alguns corpos, ocorrem pegmatitos ácidos quartzo-feldspático-cauliníticos de dimensões métricas a decimétricas.

A paragênese mineral identificada pode ser resumida em: anfibólios (hornblenda, actinolita, gedrita, tremolita e antofilita), piroxênios (augita, enstatita), vermiculita, olivin a (forsterita), serpentinas, talco, clorita, carbonato (dolomita), óxidos de ferro e ferro-titânio (magnetita, hematita e ilmenita), goethita, ilita e gibbsita.

O mapeamento das áreas de ocorrência das rochas de natureza máfico-ultramáfica é auxiliado pela grande diferença de coloração do solo argiloso-laterítico derivado destas rochas, em contraste com a coloração cinza esbranquiçada, de composição quartzo-caulinítica, dos solos derivados do gnaiss regional (Figura 3.4). Sobre a zona mineralizada é possível a identificação de palhetas de vermiculita soltas no solo vermelho.



Figura 3.4 - Vista geral da área do corpo máfico-ultramáfico Cerrado III em contato com a encaixante.

Outra característica distinta que auxilia a prospecção é o desenvolvimento de pequenos “box works” de natureza silicosa, de cor branca e aspecto poroso, que ocorrem quando a alteração intempérica é muito intensa nas áreas mineralizadas e que representam os estágios finais de lixiviação dos minerais ferromagnesianos e formação do solo (Figura 3.5). Muitas vezes este material de sílica ajuda a preservar a estrutura da rocha original.



Figura 3.5 - Estrutura de “box work”, provavelmente de sílica em estágio adiantado de formação do solo.

3.2.1. Corpo Ultramáfico Cerrado III

O corpo Cerrado III, mineralizado a vermiculita, possui forma elíptica e dimensões em torno de 300 x 150m, com orientação NW-SE (Figura 3.6) e foi intrudido em biotita gnaisse. Em superfície sua presença é evidenciada apenas por solos vermelhos argilosos contendo disseminações de lamelas de vermiculita, uma vez que não ocorrem afloramentos no local.

Apenas a parte do corpo Cerrado III que se encontra a E-SE da estrada para o povoado de Aparecida da Fartura (Figura 3.6) foi lavrada pela empresa Brasil Minérios durante o tempo de execução do mestrado, portanto objeto deste estudo. Na porção NE da parte lavrada do corpo ocorrem alguns poucos pegmatitos, de pequeno porte, de 50 x 100 cm, e composição feldspática, hoje totalmente caulinizados e associados a falhas (Figuras 3.7 e 3.8).

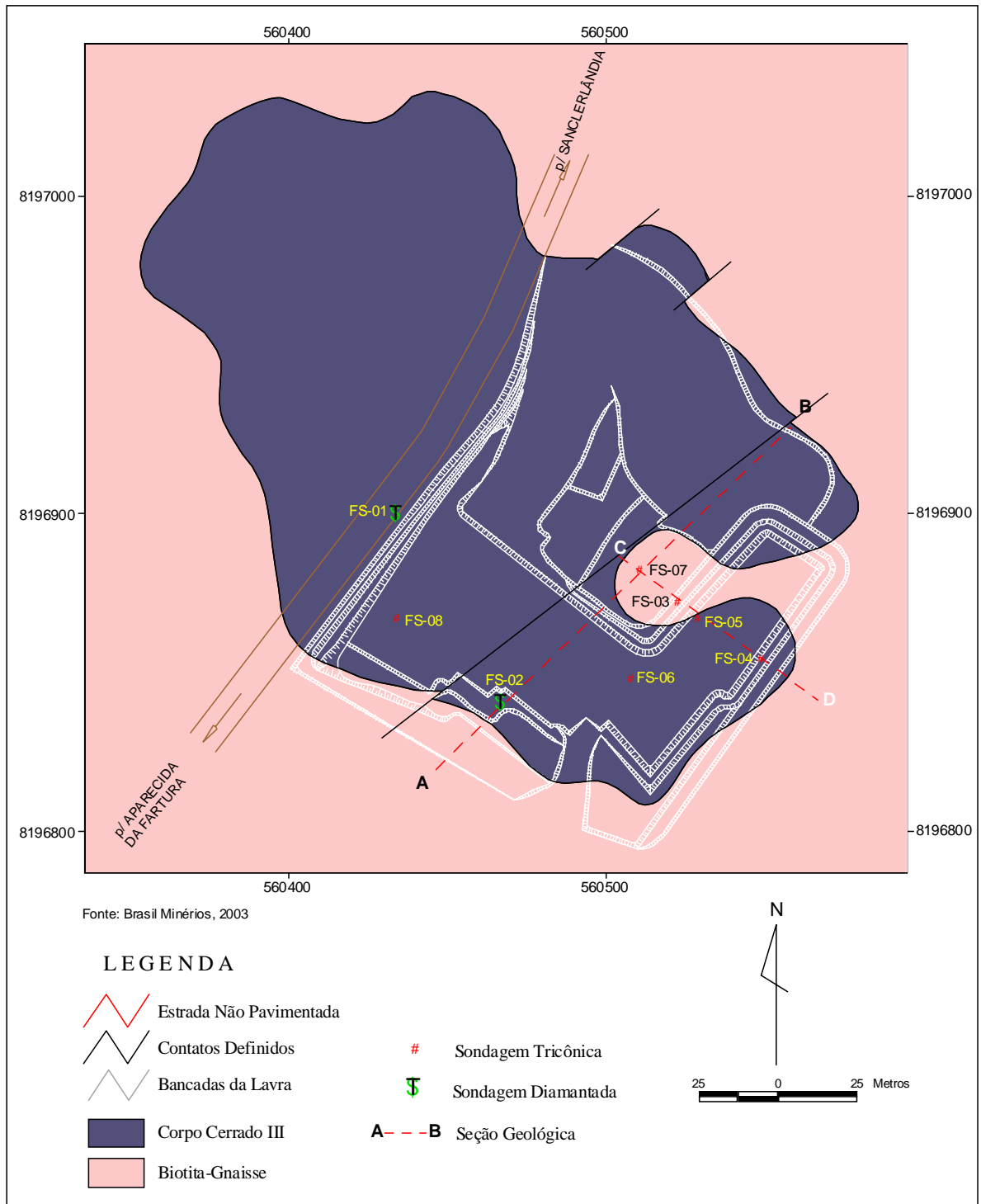


Figura 3.6 - Esboço do Corpo Cerrado III, antes do início da lavra, onde estão realçados: em branco o planejamento da lavra; e em vermelho os perfis realizados na porção SW do corpo Cerrado III.



Figura 3.7 - Pegmatito em uma das paredes da lavra.



Figura 3.8 - Detalhe de um dos poucos pegmatitos que ocorrem no Cerrado III.

Com o desenvolvimento da lavra, verificou-se que o manto de alteração intempérica sobre o corpo Cerrado III apresenta espessura em torno de 12 m (Figuras 3.9 e 3.10), marcado por minerais típicos (caulinita e illita) e hidrobiotita. O lençol freático oscila em torno de 20m de profundidade. Até este nível, a rocha se apresenta inconsistente permitindo a lavra apenas com utilização de escavadeira hidráulica convencional. A partir daí, a alta coesão da rocha inviabiliza a lavra, apesar da mineralização de vermiculita avançar em profundidade.



Figura 3.9 - Parede da cava em 2003, em que se nota o perfil de intemperismo e a gradação do solo para saprolito com Piroxenito hidrotermalizado alterado.



Figura 3.10 - Cava em 2003, com o perfil de intemperismo e gradação do solo para saprolito com Piroxenito hidrotermalizado alterado e porções estéreis desta rocha preservada (partes escuras).

Considerando-se as áreas expostas e as amostras coletadas durante o período do mestrado, a partir da caracterização mineralógica da porção lavrada do Corpo Cerrado III pode-se observar que a paragênese encontrada foi transformada por hidrotermalismo. A distribuição da mineralização sugere a existência de uma borda de reação ou de fraqueza que

favoreceu a percolação de soluções hidrotermais principalmente na borda do corpo, ou zona de contato com o biotita gnaisse, hoje caulinizado.

Neste estudo foi possível a individualização de dois litotipos, aos quais foram dadas nomenclaturas em função da paragênese e das rochas ígneas de origem: piroxenito hidrotermalizado e peridotito hidrotermalizado.

O piroxenito hidrotermalizado forma, em toda extensão exposta pela lavra, um envoltório no corpo em contato com a encaixante, seguido pelo peridotito hidrotermalizado. Este pacote se repete para o interior do corpo, em uma zonação ígnea típica.

No Esboço Geológico da Cava (Figura 3.13), observa-se que a mineralização se restringe a uma faixa na borda do corpo, constituída pelo piroxenito hidrotermalizado mineralizado a vermiculita e pelo peridotito hidrotermalizado mineralizado, imediatamente posterior. O restante do corpo é representado pelo piroxenito hidrotermalizado estéril e pelo Peridotito hidrotermalizado estéril, que constitui o núcleo do corpo.

O Corpo Cerrado III apresenta-se levemente dobrado em duas direções: a primeira formou uma sucessão de anticlinal/sinclinal/anticlinal, com direção de eixos NE/SW, que afetou também o biotita gnaisse encaixante (Figuras 3.11 e 3.12). Outra, apenas local, com eixo na direção NW/SE com suave mergulho SE. Ocorrem, ainda, dois importantes falhamentos com direções N20E e N60W. Fora estas falhas maiores, ocorrem ainda falhas menos importante, responsáveis por deslocamento de blocos, além de fraturas menores, as quais, quando próximas ao núcleo do corpo, encontram-se preenchidas por antofilita. Estas fraturas são mais freqüentes e mais abertas próximo à superfície e mais estreitas e raras em profundidade. Este aspecto sugere fraturas por alívio de pressão, quer na época do posicionamento do corpo, quer por efeito da erosão de camadas sobrepostas.



Figura 3.11 - Solo e o biotita gnaisse encaixante, com bandamento gnáissico típico.

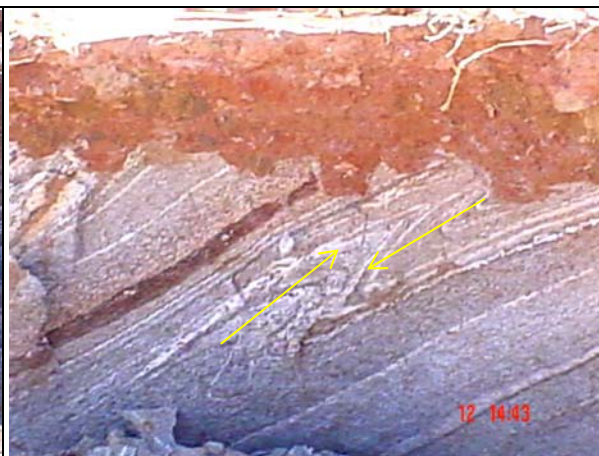


Figura 3.12 - Solo e o biotita gnaisse encaixante, com dobras assimétricas com espessamento apical.



Figura 3.13 - Esboço Geológico da Cava – Porção Leste do Corpo Cerrado III.

Durante a lavra fez-se perfis na região da mina em diferentes épocas de escavação e, para melhor compreensão da distribuição dos tipos litológicos presentes, elaborou-se as seções geológicas esquemáticas SW-NE e NW-SE (Figuras 3.14 e 3.15, respectivamente).

Na seção geológica esquemática SW-NE, compilada em épocas diferentes da lavra, nota-se restos do gnaiss encaixante no topo da intrusão, o piroxenito hidrotermalizado mineralizado ocorrendo nas bordas da seção, seguido pelo peridotito hidrotermalizado mineralizado e restos de ambos tipos de rocha, só que estéreis, no centro do corpo.

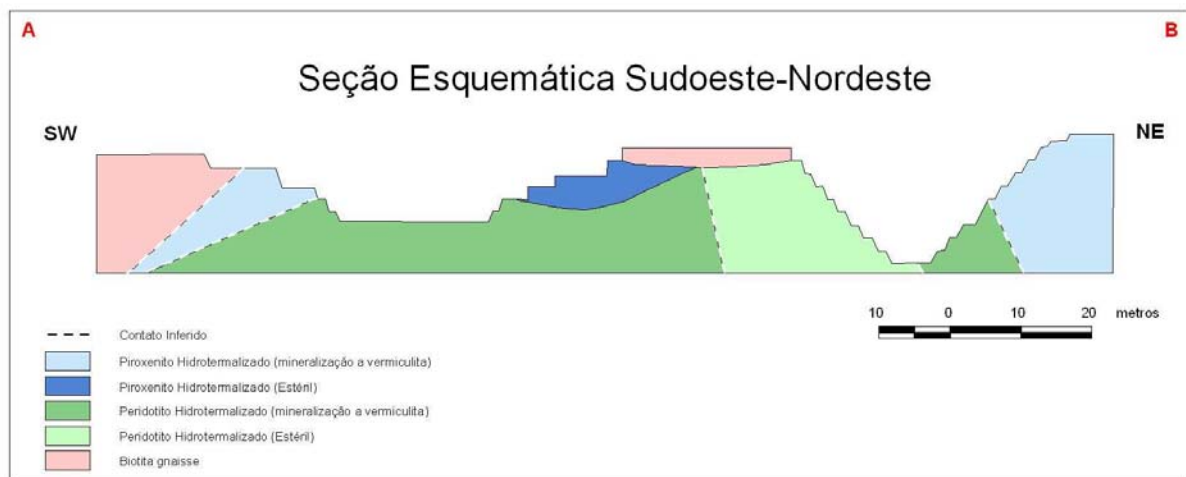


Figura 3.14 – Seção geológica esquemática SW-NE na área lavrada.

A seção geológica esquemática NW-SE, também compilada em diferentes épocas da lavra, representou uma importante frente de lavra, devido à grande espessura dos tipos litológicos piroxenito hidrotermalizado e peridotito hidrotermalizado, ambos mineralizados. Dentro do peridotito hidrotermalizado ocorre uma porção enriquecida em fragmentos de piroxenito cumulado que será detalhada no item 3.2.1.2.

Ainda referidos na seção geológica esquemática NW-SE, estão o piroxenito hidrotermalizado estéril e o gnaiss encaixante. Pode-se notar também a localização de 04 (quatro) furos de sondagem tricônica, que foram interrompidos ao atingir rocha muito dura, ainda mineralizada.

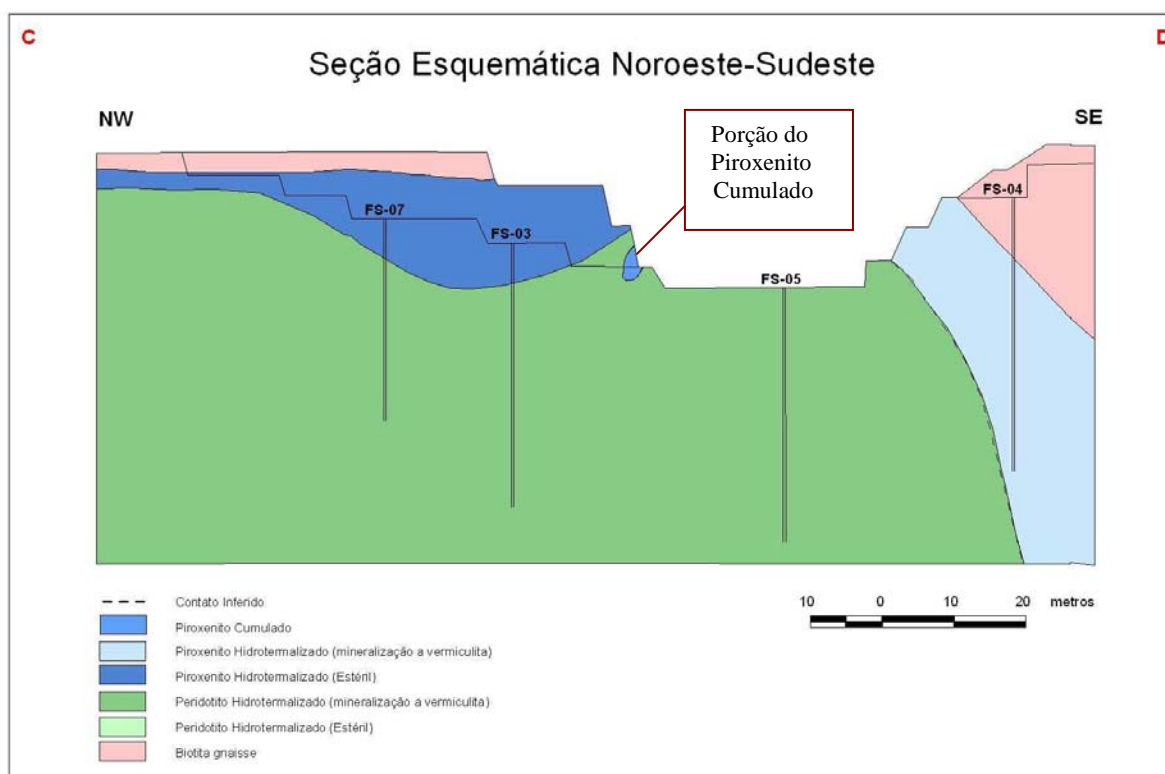


Figura 3.15 - Seção geológica esquemática NW-SE na área lavrada.

O estudo detalhado dos dois tipos de minério permitiu a seguinte discriminação:

3.2.1.1. Piroxenito Hidrotermalizado

Este litotipo representa o pacote de rochas predominante na porção lavrada do Corpo Cerrado III, especialmente nas partes mais superficiais, grosso modo, entre 2 e 12m de profundidade. Configura-se como um nível de coloração verde a verde amarelado, na superfície, passando a verde escuro, à medida que a rocha encontra-se mais preservada do intemperismo. Rocha, predominantemente de granulação média, apresentando foliação incipiente, conferida pela intercalação de filmes de vermiculita. Ocorrem, ainda, intercalações de faixas compostas essencialmente de hornblenda, com espessuras variando de 50 cm a cerca de 10m, de coloração preta, granulação média e textura equigranular. Normalmente estas intercalações evidenciam ondulações suaves do pacote, que sugerem dobramentos por esforços tectônicos suaves (Figura 3.16) e em outras apenas feições de fluxo magmático – em função de bandamento ígneo ou de posicionamento do corpo (Figura 3.17).



Figura 3.16 - Feições que sugerem dobramentos suaves piroxenito hidrotermalizado.



Figura 3.17 - Ondulações no piroxenito hidrotermalizado sugerindo fluxo magmático ou posicionamento do corpo.

O piroxenito hidrotermalizado está em contato brusco com a encaixante, sendo freqüentes os xenólitos do biotita gnaisse encaixante (Figura 3.18), que não apresenta evidências de ter sido afetado pelo hidrotermalismo.



Figura 3.18 - Biotita gnaisse sendo englobado pelo Piroxenito hidrotermalizado.

O contato do piroxenito hidrotermalizado com o peridotito, subsequente, é brusco e predominantemente concordante, geralmente marcado por um nível, centimétrico a métrico (Figura 3.19), enriquecido em vermiculita castanha.

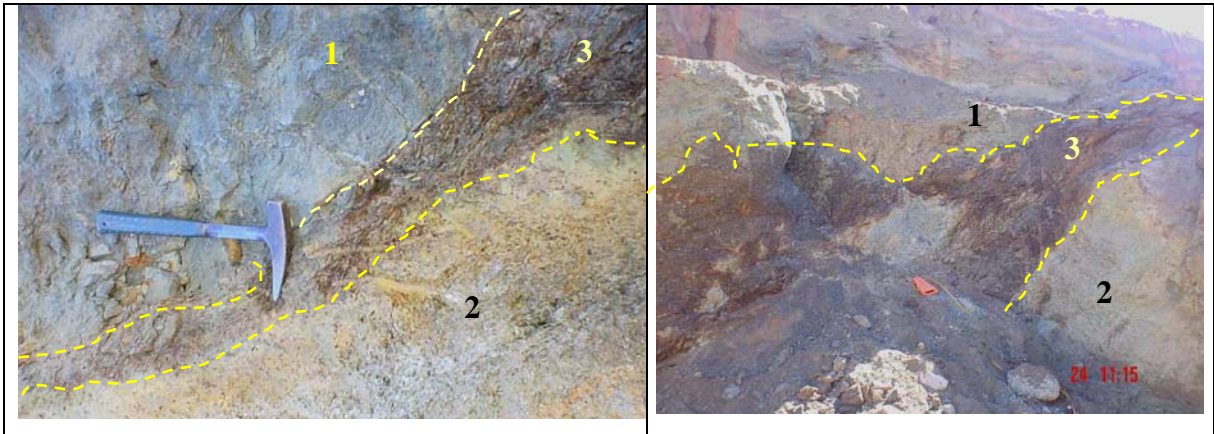


Figura 3.19 - Contato do piroxenito uvelitizado (1) com o peridotito hidrotermalizado (2) marcado por nível centimétrico a métrico de vermiculita (3).

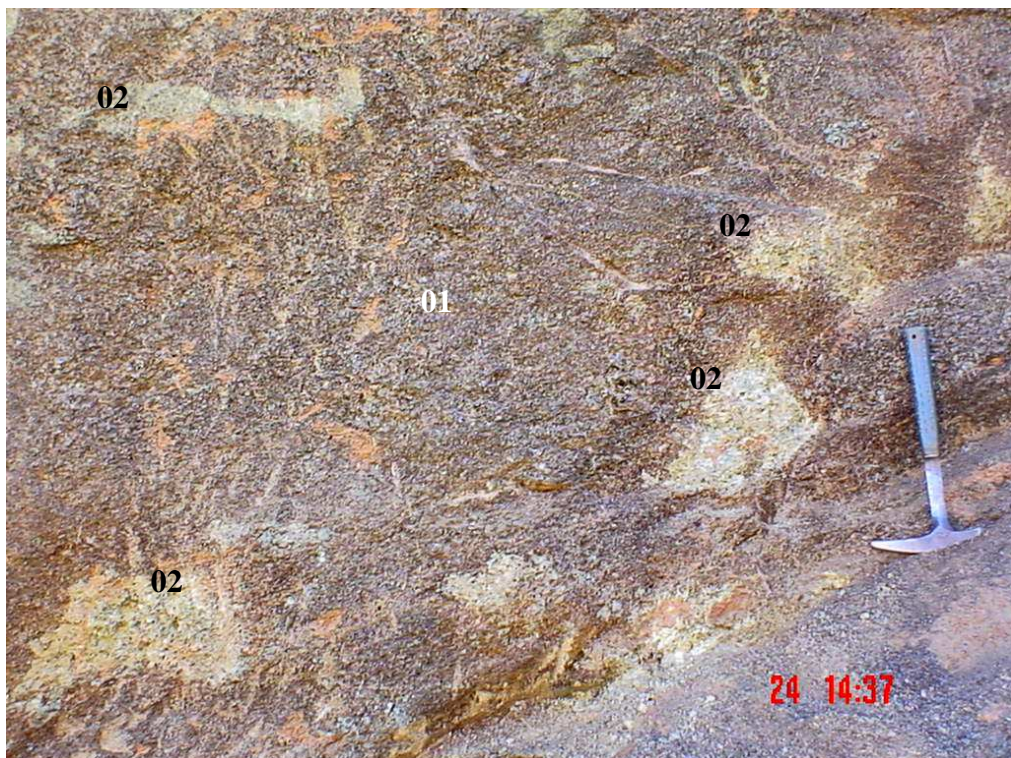


Figura 3.20 - Nível enriquecido em vermiculita do piroxenito hidrotermalizado (01) e porções do peridotito hidrotermalizado (02).

3.2.1.2. Peridotito Hidrotermalizado

O peridotito hidrotermalizado é subjacente ao piroxenito hidrotermalizado (Figura 3.21), possui granulação grossa e estrutura maciça. Sua coloração geral é cinza esverdeada e torna-se cinza azulada, quando em processo de desagregação no nível de flutuação do lençol freático. Localmente apresenta porção enriquecida em fragmentos que parecem ser do piroxenito cumulado. Estes fragmentos possuem formas arredondadas, às vezes elípticas, e

tamanhos entre 1 e 15 cm de diâmetro (Figura 3.22), nestes locais há enriquecimento de vermiculita, que pode atingir 50% da rocha (Figura 3.23).

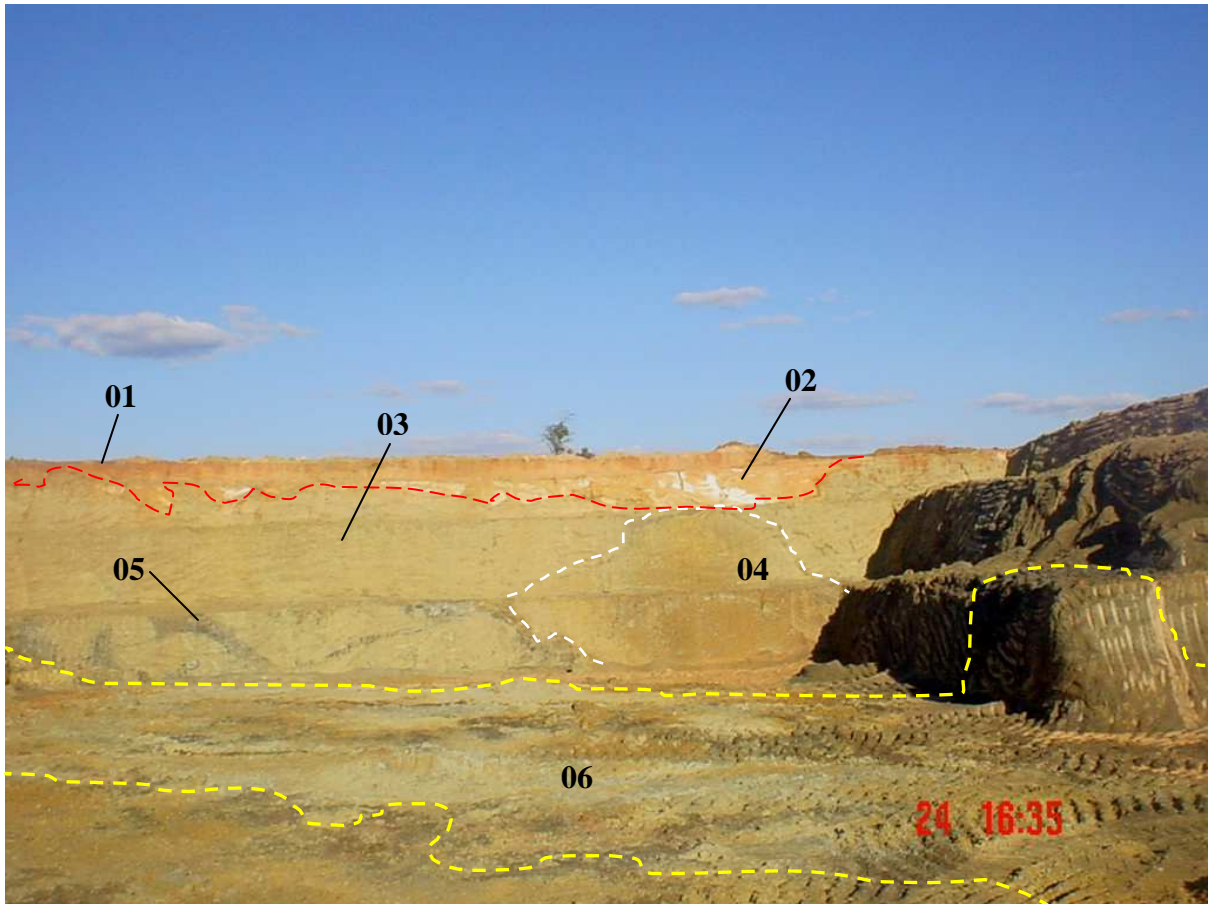


Figura 3.21 - Vista de parte da cava da mina do Corpo Cerrado III em Junho de 2005: **01** - Solo; **02** - Biotita Gnaisse; **03** - Piroxenito hidrotermalizado mineralizado; **04** - Peridotito hidrotermalizado, com porção enriquecida em fragmentos do piroxenito cumulado; **05** - Piroxenito hidrotermalizado estéril; **06** - Peridotito hidrotermalizado.



Figura 3.22 - Detalhe da feição nº 04 da Figura 3.19 da parede da cava, mostrando porção do peridotito hidrotermalizado enriquecida com fragmentos do piroxenito cumulado.



Figura 3.23 - Detalhe da Figura 3.20 mostrando o enriquecimento em vermiculita (1) e os fragmentos arredondados de piroxenito cumulado.

Localmente estes fragmentos apresentam halos de alteração para serpentina radial (Figuras 3.24 e 3.25).

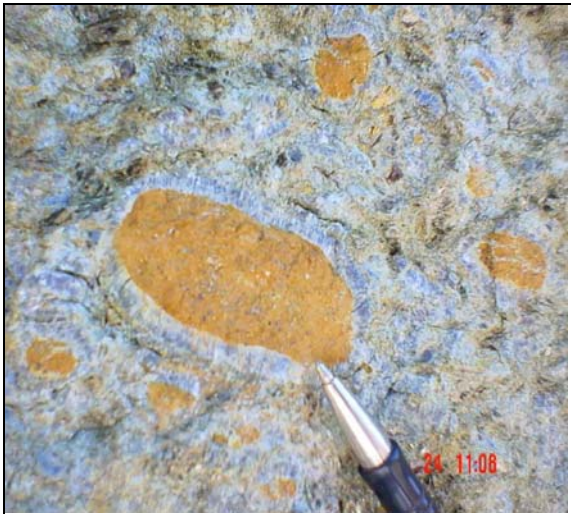


Figura 3.24 - Fragmentos do piroxenito cumulado com halos de alteração para serpentina.



Figura 3.25 - Detalhe do piroxenito cumulado com halo de alteração para serpentina.

Como referido anteriormente, o topo do nível freático varia ao redor de 20m de profundidade, onde o peridotito apresenta filmes milimétricos horizontalizados, de coloração branca. Tais filmes são gerados pela decomposição da rocha e têm composição de sílica amorfa.

Em alguns locais constatou-se a presença de blocos de peridotito hidrotermalizado não intemperizados, soltos no pacote já em processo de alteração intempérica (Figura 3.26). A rocha nesses blocos tem coloração quase preta, granulação média e estrutura maciça.



Figura 3.26 - Bloco de Peridotito hidrotermalizado não intemperizado no meio do pacote de peridotito intemperizado.

3.2.2. Mineralização de Vermiculita

A mineralização de vermiculita ocorre na borda do corpo, em uma faixa com cerca de 50m de espessura, sugerindo uma zona de maior hidratação. Apresenta teores médios da ordem de 30%, eventualmente atingindo 50% e se prolonga em profundidade pelo menos até 30m, como evidenciado por perfurações (Figuras 3.27 e 3.28), ou até onde se tem informação de sondagem.



Figura 3.27 - Detalhe do final do furo SR-01, aos 31,03m (inclinado 60°), ainda mineralizado.

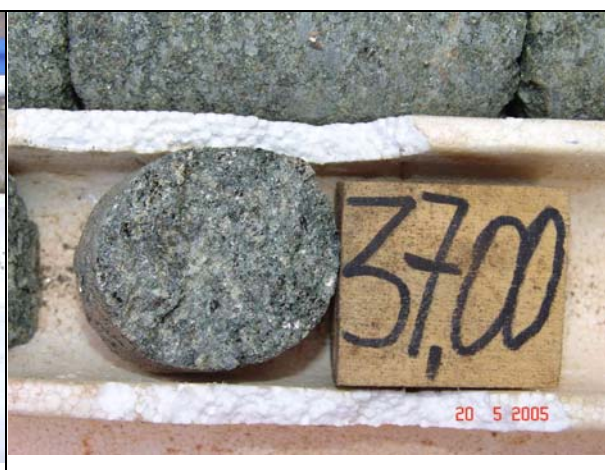


Figura 3.28 - Detalhe do final do furo SR-02, aos 37,00m (inclinado 60°), ainda mineralizado.

O piroxenito hidrotermalizado contém teores médios de 10%, podendo chegar, localmente, a 50% de vermiculita, que ocorre de três formas diferentes:

- ✓ Filmes milimétricos de coloração castanha a cinza e granulação fina, subordinados ao bandamento ígneo;
- ✓ Veios pegmatóides métricos discordantes, onde a vermiculita possui granulação grosseira, coloração cinza escura, sem orientação preferencial;
- ✓ Níveis centimétricos a métricos no contato com o peridotito, com vermiculita castanha e grossa.

O peridotito hidrotermalizado é o principal litotipo mineralizado, com teores médios de de 30%, localmente 70%. A vermiculita ocorre em palhetas grossas uniformemente disseminadas.

Considerando-se as classificações mundiais utilizadas para nomear depósitos de minério de vermiculita, esta mina de Goiás poderia pertencer: ao Grupo 1 – segundo Borovikov (1962 *in* Hindman, 1992) e Basset (1963 *in* De la Calle & Suquet, 1988) – para depósitos associados a rochas máficas e ultramáficas; ou ao Tipo 2 – descrito por Bush (1976 *in* Gosen *et al.*, 2002), para depósitos associados a intrusões ultramáficas pequenas a grandes, não zonadas, cortadas por pegmatitos, rochas graníticas ou sieníticas.

3.2.3. Beneficiamento da Vermiculita de Sanclerlândia

O processo de beneficiamento da vermiculita da Brasil Minérios pode ser considerado misto, com etapa úmida (Circuito de Deslamagem e Classificação) e etapas secas (Circuito de Secagem e Circuito de Classificação e Concentração a Seco). As Figuras 3.29 e 3.30 ilustram a 1ª etapa do processo de beneficiamento e os fluxogramas esquemáticos do circuito completo de tratamento são mostrados nas Figuras 3.31, 3.32 e 3.34.



Figura 3.29 - Detalhe da grelha para separação das “pedras”.



Figura 3.30 - Vista geral dos trommels classificatórios

No balanço de massa da indústria no ano de 2004, obteve-se a seguinte distribuição:

- Alimentação: 8606t a 31,10% vermiculita, assim distribuída: Large – 2,32%; Fino+Médio – 17,44% e superfino – 63,78%;
- Concentrados: Médio – 145t a 94,0% vermiculita; Fino – 572t a 89,5% de vermiculita; Superfino – 306t a 88,5% de vermiculita;
- Recuperação em Massa: 65,95%;
- Recuperação da Vermiculita: 79,77%

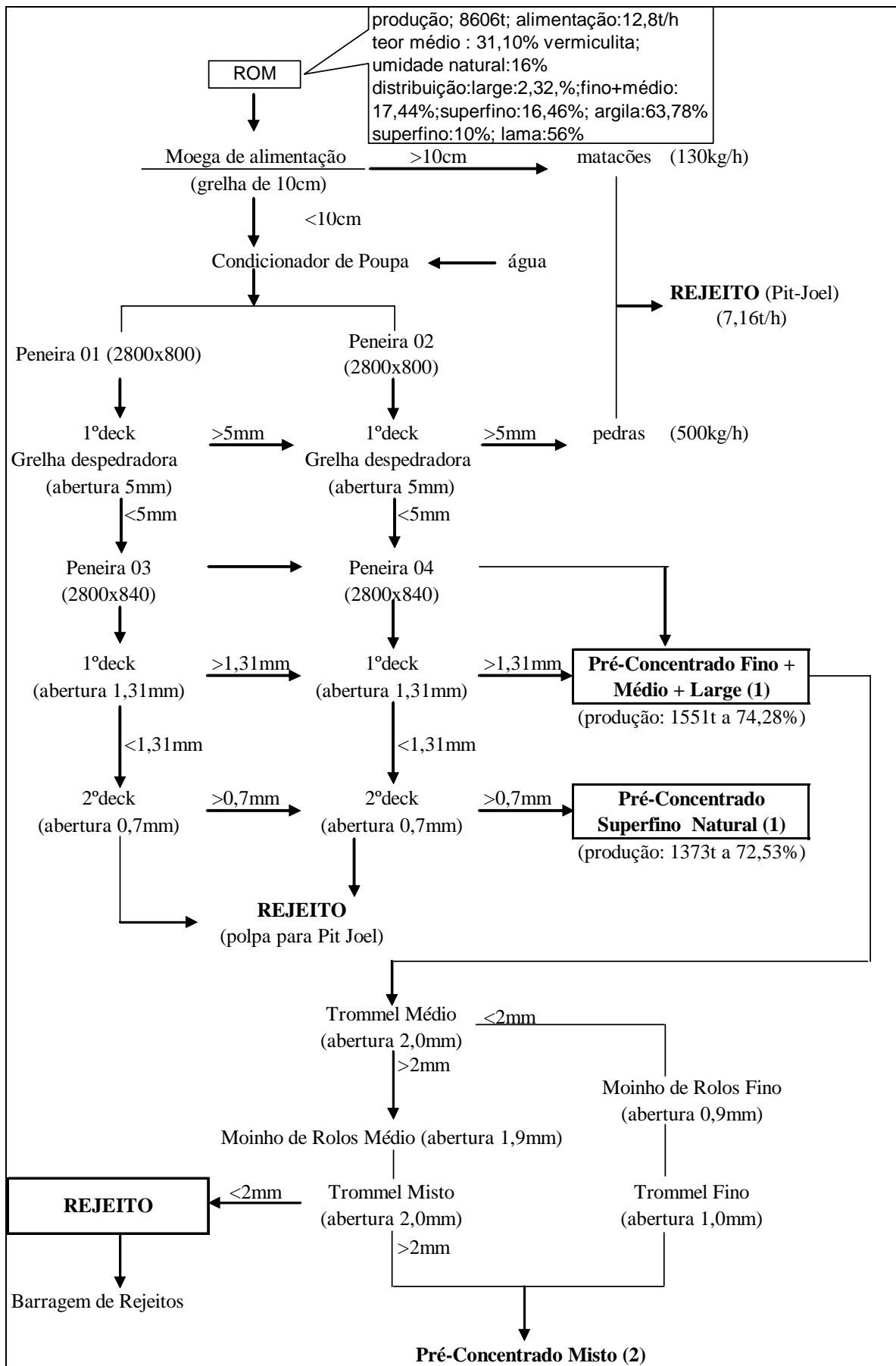


Figura 3.31 - Processo de Beneficiamento - Circuito de Deslagagem e Classificação a Úmido

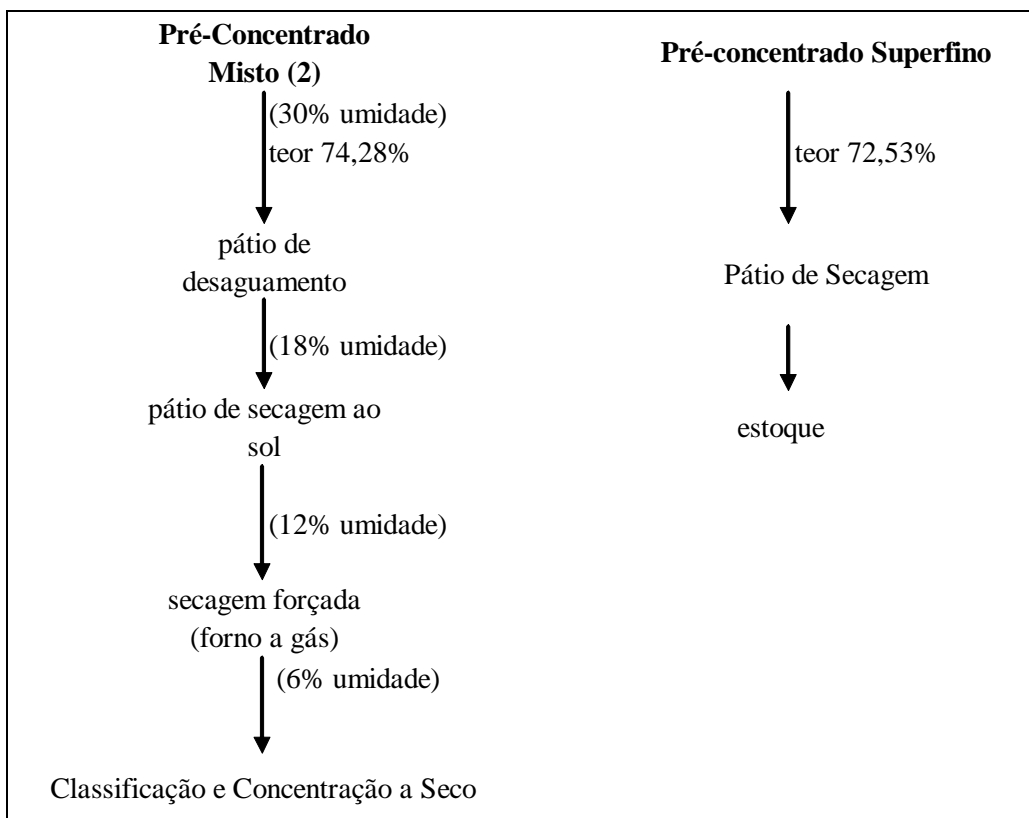


Figura 3.32 - Processo de Beneficiamento - Circuito de Secagem

As Figuras 3.33 e 3.34 ilustram o Circuito de Secagem.



Figura 3.33 - 1ª etapa - pátio de secagem



Figura 3.34 - 2ª etapa – Secador Rotativo a gás.

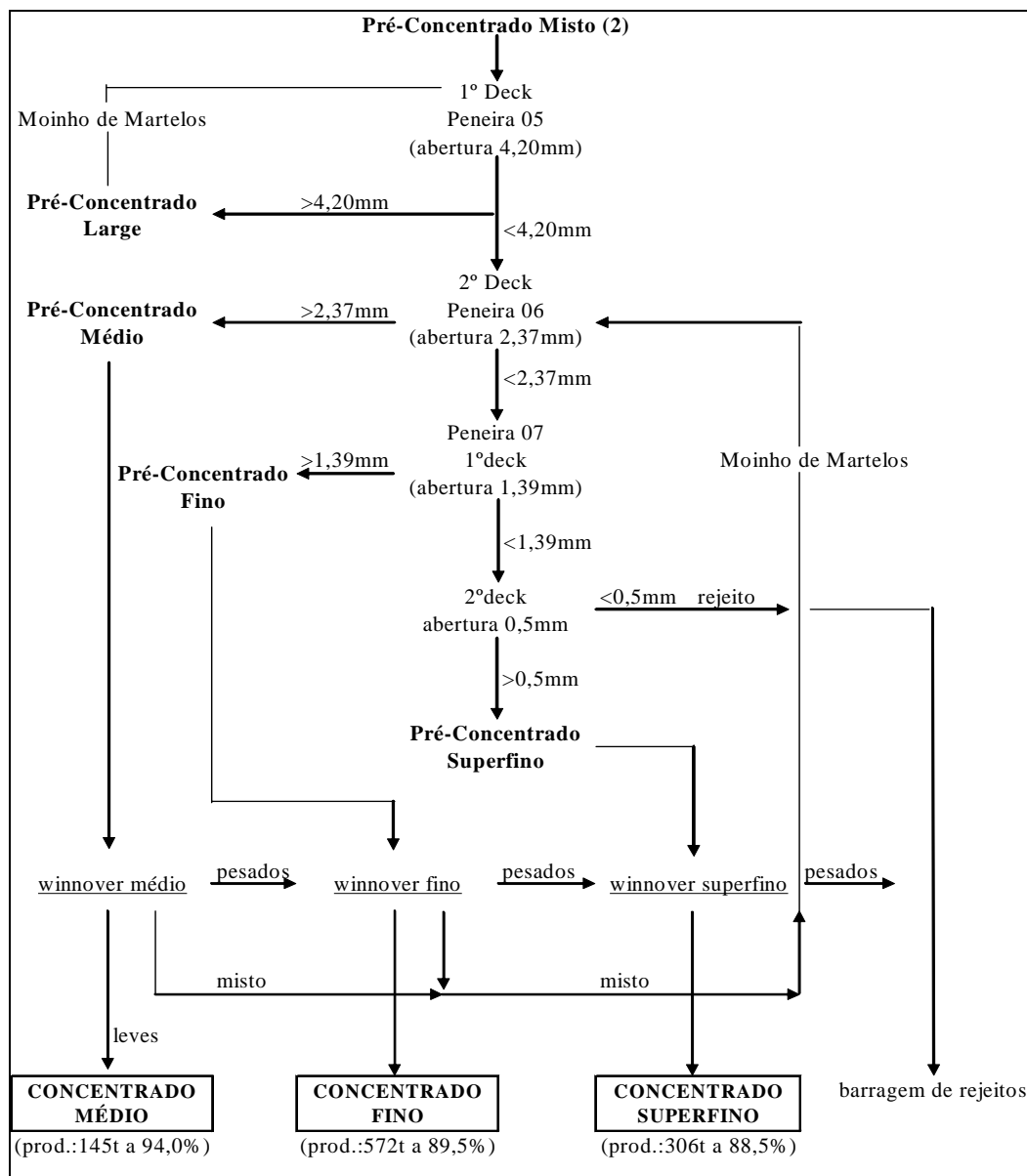


Figura 3.35 - Processo de Beneficiamento - Circuito de Classificação do Concentrado

As Figuras 3.36 e 3.37 ilustram o circuito de Classificação do Concentrado, com classificadores pneumáticos (winnovers) com diferentes granulometrias de corte.



Figura 3.36 - Winnover Médio – para classificação, por tamanho, do concentrado de vermiculita crua.



Figura 3.37 - Etapa final – ensacamento dos concentrados de vermiculita crua em “big bags”.

A etapa seguinte é a expansão dos concentrados de vermiculita crua, para atender especificação de determinados clientes. Este estágio é realizado em forno vertical a gás (Figuras 3.38 e 3.39) a uma temperatura média de 800°C, em que a vermiculita é alimentada no alto e coletada embaixo do forno, em uma queda de cerca de 6 segundos, o que é suficiente para promover sua esfoliação ou expansão.



Figura 3.38 - Forno de Expansão



Figura 3.39 - Forno de expansão à esquerda, vermiculita expandida ensacada e ciclone à direita.