UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PETROGÊNESE DAS ROCHAS PRÉ - CAMBRIANAS DA
REGIÃO ITABIRA/MORRO DO PILAR, BORDA SUDESTE
DA SERRA DO ESPINHAÇO MERIDIONAL - MG.

Marcelo Lopes Vidigal Guimarães

Orientador: Prof. Dr. Johann Hans Daniel Schorscher

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO
1992

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005042

Este trabalho é dedicado
aos meus pais, João e Olga.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Hans D. Schorscher pela orientação em todas as etapas do trabalho, pelas inúmeras discussões que tivemos sobre a geologia da região e pelo seu esforço para que os resultados fossem aqueles desejados por nós.

Aos colegas e amigos da pós-graduação do IG-USP, em especial à Sandra Iwata, Angela Menezes, Ivanir Luchesi e Gustavo de Abreu, que de uma ou outra maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

A colega Gianna Garda pela sua paciência e disposição em me ajudar na utilização dos *Softwares* para tratamento dos dados geoquímicos e ainda na diagramação final do texto da dissertação.

Ao Prof. Dr. Paulo Veneziani que me orientou em um estágio no INPE-São José dos Campos, no qual foi realizada a fotointerpretação preliminar da área estudada.

A Dra. Carmem Porto da Silveira, PUC-RJ, pelas análises dos elementos de terras raras.

Aos estagiários da AOS que ajudaram nos trabalhos de montagem final da dissertação.

A FAPESP que financiou este trabalho através do processo 89/3835-5.

Ao CNPq pela bolsa de mestrado no período 1989/91.

A todos os amigos com os quais convivi nestes últimos três anos em São Paulo.

RESUMO

A região entre Itabira e Morro do Pilar, borda sudeste da Serra do Espinhaço Meridional - MG, é constituída de terrenos Pré-Cambrianos nos quais foram identificados os seguintes conjuntos litológicos: Complexo Gnáissico-Migmatítico; "Granitóide Borrachudos"; Metassedimentos; Metabasitos; Rochas Metaultramáficas; e Basaltos.

O Complexo Gnáissico-Migmatítico teve uma evolução polimetamórfica e constitui o embasamento (Arqueano) para as sequências supracrustais. Foi dividido em 2 domínios: Domínio I, com predominância de gnaisses ortoderivados homogêneos; e Domínio II, constituído por migmatitos não homogêneos

Como constituinte do embasamento, ocorre ainda o "Granitóide" Borrachudos de idade - inferida - Arqueana tardia. Trata-se de um *augen*-gnaisse onde destacam-se porfiroclastos de feldspato alcalino mesopertítico ricos em inclusões fluidas, além de quantidades importantes de fluorita entre os constituintes menores, evidenciando a importância dos fluidos na sua formação.

Os metassedimentos pertencem aos Supergrupos Proterozóicos Espinhaço e Minas. Os metassedimentos Espinhaço foram divididos em quatro conjuntos de litofacies crono-correlatas, depositadas em um ambiente marcado pela progradação, de W para E, de sedimentos de granulação grossa (continentais) sobre facies pelíticas (marinhas). O SGr. Minas, representado principalmente pela sequência itabirítica, situa-se no extremo distal desta progradação faciológica. Estes dados sustentam a correlação entre os Supergrupos Espinhaço e Minas, como equivalentes laterais de facies penecontemporâneas de uma mesma bacia deposicional.

Os metabasitos são corpos intrusivos, tardi a pós-sedimentares e pré-tectônicos em relação a evolução dos Supergrupos Espinhaço e Minas, tendo sofrido os efeitos do último metamorfismo regional progressivo. São toleitos continentais, variando de olivina a quartzo-normativos. Suas feições geoquímicas foram pouco modificadas pelos efeitos tectono-metamórficos.

Corpos isolados de rochas metaultramáficas ocorrem localmente e são considerados como corpos do tipo alpino.

Todas as unidades Pré-Cambrianas estiveram sujeitas a deformações tectônicas devidas principalmente a cavalgamentos de baixo e médio ângulo, vergentes para W. Rampas laterais e oblíquas importantes, provocadas por um alto estrutural na porção SE da área, são responsáveis pela inflexão local de partes da Serra do Espinhaço, da direção N-S para E-W. O metamorfismo de natureza dinamotermal progressivo, que varia de W para E de facies xisto verde a anfibolito, acompanhou a deformação tectônica regional.

Os basaltos tem idade, inferida, mesozóica e são também toleitos continentais. Comparativamente com os metabasitos, rochas mais evoluídas, possuindo teores mais altos em elementos incompatíveis, embora admite-se fontes mantélicas com características semelhantes para ambos.

ABSTRACT

The region between Itabira and Morro do Pilar, Southeastern border of the Southern Espinhaço Range (Serra do Espinhaço Meridional - MG), is a Precambrian terrain composed of several regional lithologic associations: Gneiss-Migmatite Complex; "Borrachudos Granitóide"; Metasediments; Metabasic Rocks; Metaultramafic Rocks; and Basalts.

The Gneiss-Migmatite Complex had a polymetamorphic evolution and constitutes the basement, of Archean age, for the supracrustal sequences. It was divided in two domains: Domain I, of predominately homogeneous orthogneiss; and Domain II, composed of inhomogeneous migmatites.

Another basement constituent is the "Borrachudos Granitóide" of inferred late Archean age. This is an *augen*-gneiss showing the presence of porphyroclastic mesoperthitic alkali-feldspars, that are extremely rich in fluid inclusions. Besides there occur important quantities of fluorite among the minor constituents, reinforcing the importance of fluids in the formation of the "Borrachudos Granitóide".

The metasediments belong to the lower to mid-proterozoic Espinhaço and Minas supergroups. The Espinhaço metasediments were divided into four chrono-correlated facies associations. These were deposited in an environment characterized by progradation, from W to E, of coarse-grained continental clastics over pelitic sediments (marine facies). The Minas Supergroup, mainly represented by itabiritic ferriferous units (metasediments of chemical origin), is situated at the distal extreme of the faciolitic progradation. These data sustain the correlation between Espinhaço e Minas supergroups, as lateral penecontemporaneous facies equivalents of the same sedimentary basin.

The metabasic rocks are last to post-sedimentary, pre-tectonic intrusive bodies with respect to the evolution of the Espinhaço and Minas supergroups, and were affected by the latest regional progressive metamorphism. The metabasic rocks are continental tholeiites, ranging from olivine to quartz-

normative. Their geochemical features were little modified by the tectonic and metamorphic event.

Isolated bodies of metaultramaphic rocks occur locally and were interpreted as of the alpine type.

All the Precambrian units were subjected to tectonic deformations due mainly to W-verging thrusting. Important lateral and oblique-slip thrust, are responsible for the partial inflexion of the Serra do Espinhaço, from N-S to E-W directions. The progressive dynamothermal metamorphism, which ranges from W to E from green-schist to amphibolite facies, accompanied the regional tectonic deformation.

The basalts are Mesozoic-aged and are also continental tholeiites of mesozoic age. In comparison with the metabasics, they are more evolved rocks, showing higher values in incompatible elements, although mantelic sources with similar characteristics for both are admitted.

INDICE

	pg.
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO A AREA DE ESTUDO	3
3 - OBJETIVOS	5
4 - METODOLOGIA	6
5 - GEOLOGIA LOCAL	8
5.1 - Trabalhos Anteriores	8
6 - COMPLEXO GNAISSICO-MIGMATITICO	11
6.1 -Dominio I	12
6.1.1 - Petrografia	14
6.2 - Dominio II	15
6.2.1 - Petrografia	16
6.3 - Anfibolitos	19
6.3.1 - Anfibolitos Máficos	19
6.3.2.- Anfibolitos Ultramáficos	20
6.4 - Idade	20
7 - "GRANITOIDE" BORRACHUDOS	21
7.1 - Petrografia	21
7.2 - Idade	25
8 - METASSEDIMENTOS	26
8.1 - Supergrupo Espinhaço	26
8.1.1 - Formação Sopa Brumadinho	27
8.1.2 - Unidade de Quartzitos Laminados	27
8.1.3 - Unidade de Quartzitos Bandados	30
8.1.4 - Unidade de Moscovita-Xistos	31
8.2 - Supergrupo Minas	31
8.3 - Discussão de um Modelo Evolutivo Deposicional e da Correlação entre os SGr= Espinhaço e Minas	33
8.3.1 - Supergrupo Espinhaço	33
8.3.2 - Supergrupo Minas	35
8.3.3 - Correlação Espinhaço x Minas	35
8.3.4 - Idade	37
9 - METABASITOS	40
9.1 - Petrografia	41
9.1.1 - Características Mineralógicas	44
9.2 - Geoquímica	47

9.3 - Discussão	55
9.4 - Idade	55
10 - METAULTRAMAFICAS	56
10.1 - Petrografia	56
10.2 - Idade	57
11 - TECTONICA	58
11.1 - Descrição das Estruturas	58
11.2 - Interpretação das Estruturas	61
11.3 - Idade	63
12 - METAMORFISMO	65
12.1 - Idade	67
13 - BASALTOS	68
13.1 - Petrografia	68
13.1.2 - Características Mineralógicas	71
13.2 - Geoquímica	72
13.3 - Comparação entre Basaltos x Metabasitos	77
14 - CONCLUSOES	81
15 - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	84

22 FOTOS, 2 TABELAS E 16 FIGURAS NO TEXTO

ANEXOS

ANEXO I

Geologia Regional (Histórico sobre a Evolução dos Conhecimentos)

ANEXO II

Limites de Detecção para os elementos analisados

ANEXO III

Composição Modal (leucossoma de migmatitos)

ANEXO IV

Descrição Sucinta dos Afloramentos

ANEXO V

Mapa Geológico da Região Itabira/Morro do Pilar - MG

Mapa de Afloramentos

1 - INTRODUÇÃO

O trabalho propõe-se ao estudo litoestrutural-estratigráfico e à caracterização petrográfica, com geoquímica de grupos de rochas selecionados, dos terrenos Pré-Cambrianos da borda sudeste da Serra do Espinhaço Meridional (MG), entre as cidades de Itabira e Morro do Pilar.

Tratam-se de terrenos de evolução poligenética e policíclica compreendendo rochas gnáissicas e migmatíticas polimetamórficas, sequências metassedimentares supracrustais e extensas intrusões de metabasitos proterozóicos, além de ocorrências menores de rochas metaultramáficas e de basaltos fanerozóicos.

Em termos geológicos regionais, a área encontra-se praticamente pouco estudada, inexistindo mapeamentos em escala maior que 1:250.000. No entanto, encerra em si aspectos importantes da evolução geológica e petrogenética regional, entre os quais se destacam:

a) as relações metamórficas e estruturais entre as rochas gnáissicas-migmatíticas e as sequências supracrustais;

b) a presença de "granitóides" metamorfisados ("Granitóide Borrachudos"), cuja origem ainda está sendo debatida, de maneira que alguns autores admitem uma origem metassomática e outros uma origem ígnea;

c) os corpos de metaultramáficas, os quais tem significado tectônico e posição estratigráfica ainda em discussão;

d) a distribuição do Supergrupo Espinhaço e suas relações com o Supergrupo Minas;

e) a estruturação geral da Serra do Espinhaço, que na área, apresenta-se controlada por um padrão principal N-S e secundário E-W;

f) a ocorrência de grande quantidade de corpos intrusivos de metabasitos;

g) o fato de que todas as rochas Pré-Cambrianas da região da Serra do Espinhaço foram afetadas por um último metamorfismo

regional, dinamothermal, progressivo de W para E, variando, na área, de facies xisto verde a anfibolito;

h) a ocorrência de diques de basalto não metamorfisados e não deformados, provavelmente de idade mesozóica.

Os enfoques principais do trabalho incluem a caracterização petrográfica das rochas gnáissicas-migmatíticas e granitóides associados, a subdivisão faciológica, ainda que preliminar, das sequências metassedimentares, o estudo petrológico/geoquímico dos metabasitos e basaltos, além das relações estruturais e metamórficas entre as unidades litoestratigráficas.

2 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO A AREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se na borda leste da Serra do Espinhaço Meridional, à nordeste do Quadrilátero Ferrífero (Fig. 01). Está delimitada pelas latitudes $19^{\circ}12'$ e $19^{\circ}37'$ sul e longitudes $43^{\circ}10'$ e $43^{\circ}26'$ oeste, totalizando cerca de 1300 Km².

A distância viária de Belo Horizonte a Itabira é de cerca de 100 Km e o acesso é feito pela rodovia BR-262 até o Km 70 e depois pela rodovia MG-3. A cidade de Morro do Pilar está a 150 Km (distância viária) de Belo Horizonte através da rodovia MG-10.

A área é cortada por muitas estradas de rodagem não pavimentadas que ligam as principais cidades e localidades, dando acesso a todas as partes da área (ver Mapa de Afloramentos em anexo).

FIGURA 01 - Localização da área no contexto geológico regional (Mapa adaptado de Dorr, 1969, Pflug & Renger, 1973 e Schorsch, 1988).

SUPERGRUPO SÃO FRANCISCO

Grupo Bambuí - calcário
folhelho

Grupo Macaúbas - diamictitos, quartzitos

SUPERGRUPO MINAS

Grupo Piracicaba - quartzitos, filitos

Grupo Itabira - itabirito, metadolomito

Grupo Caraca - quartzitos, filitos

Unidade de Xistos Verdes

SUPERGRUPO ESPINHAÇO (indiviso)

Quartzitos, filitos e metaconglomerados

SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS

Komatiitos, metamáficas, metassedimentos clásticos e vulcano-clásticos.

EMBASAMENTO

Granitóides Borrachudos

Terrenos Graníticos-Migmatíticos arqueanos e proterozóicos policíclicos.

3 - OBJETIVOS

Os principal objetivo deste trabalho é o estudo petrogenético, tectôno-metamórfico e estratigráfico da área Itabira/Morro do Pilar, com caracterização dos litotipos do complexo cristalino embasamental, das unidades metassedimentares supracrustais e dos corpos de metabasitos, de rochas metaultramáficas e de basaltos. Adicionalmente incluiu-se a caracterização geoquímica dos metabasitos proterozóicos e basaltos fanerozóicos, na tentativa de obtenção de informações sobre os processos relacionados a evolução do manto superior. Os metabasitos forneceram ainda dados relativos à mobilidade geoquímica de elementos em rochas basálticas afetadas por metamorfismo regional e dinâmico.

Todos os resultados serão finalmente integrados em um contexto geológico regional, visando contribuir, com novos dados, para os conhecimentos sobre a evolução crustal da borda leste da Serra do Espinhaço Meridional.

4 - METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em 4 etapas consecutivas:

A - Trabalhos Preliminares:

A.1 - levantamento bibliográfico extensivo segundo enfoques temáticos, regionais e locais;

A.2 - fotointerpretação preliminar de fotografias aéreas na escala original de 1:60.000 (USAF - 1966) e de uma imagem de satélite (LANDSAT - 1984) na escala de 1:100.000 (realizada em parte no INPE-São José dos Campos);

B - Trabalhos de Campo:

Mapeamento litoestrutural, na escala de 1:100.000, da área, com levantamento de perfis preferencialmente perpendiculares a estruturação local, acompanhados de descrição de pontos e coleta de amostras.

C - Estudos Laboratoriais:

C.1 - estudos microscópicos mineralógicos-petrográficos de lâminas delgadas e seções polidas;

C.2 - fotointerpretações subsequentes em acompanhamento aos trabalhos de campo e finais, para a confecção do mapa geológico da área;

C.3 - estudos geoquímicos incluindo elementos maiores, traços e terras raras de metabasitos e basaltos. Os elementos maiores e traços foram analisados por Fluorescência de Raio-X sequencial automática, em cooperação internacional com os laboratórios da Universidade de Berna (Suíça) e Universidade de Mainz (Alemanha). Os elementos de terras raras foram analisados por ICP-OES, em cooperação inter-institucional com a Dra. Carmen Porto da Silveira, no Departamento de Química da Pontifícia Universidade Católica - Rio de Janeiro.

As determinações de Fe^{+2} , Fe^{+3} e perda ao fogo (LOI) foram feitas no laboratório de química do Departamento de Mineralogia e Petrologia do IG-USP.

D - Avaliações Finais:

D.1 - interpretações finais com base na integração de dados de campo, mineralógico-petrográficos e geoquímicos;

D.2 - redação desta dissertação.

5 - GEOLOGIA LOCAL

Na área estudada foram identificados diversos conjuntos litológicos com características petrogenéticas particulares, que serão descritos separadamente nos capítulos denominados de: Complexo Gnáissico-Migmatítico; "Granitóide" Borrachudos; Metassedimentos; Rochas Metaultramáficas; Metabasitos; e Basaltos.

Alguns trabalhos científicos e/ou de mapeamento geológico já foram realizados nesta área, os quais serão comentados brevemente, no item que se segue. Um resumo do histórico sobre a evolução dos conhecimentos geológicos a nível regional encontra-se no Anexo I.

5.1 - Trabalhos Anteriores Locais

Os trabalhos sobre a área são escassos e os mapas em escala de 1:250.000 (Kehrer 1972, Fontes *et al.* 1978, e Barbosa 1988), sendo que estudos mais detalhados foram realizados somente nas imediações das ocorrências de formações ferríferas.

Kehrer (*op.cit.*) apresentou um mapa regional que incluía a área de estudo, reconhecendo as três Facies do Geossinclinal Minas (segundo Pflug, 1965). Scheuch (1976), a partir do trabalho de Kehrer (*op.cit.*), apresentou dados geoquímicos, bioquímicos e de petrografia sedimentar sobre os itabiritos e "seus correlatos faciológicos", concluindo por uma contemporaneidade entre todas as unidades estudadas pelo autor.

Fontes *et al.* (*op.cit.*) correlacionaram os quartzitos, xistos e itabiritos da porção central da área, com o Grupo Tamanduá (SGr. Minas) definido na região do Quadrilátero Ferrífero, englobando os gnaisses do leste na Associação Barbacena/Paraíba do Sul. O trabalho de Barbosa (1988) teve características fotogeológicas, estruturais e litológicas regionais de uma extensa área na porção sul da Serra do Espinhaço, no qual correlacionou as sequências metassedimentares da região entre Itabira e Morro do Pilar com as unidades dos Supergrupos Minas e Espinhaço.

A região de Itabira conta com uma série de trabalhos e mapeamentos de detalhe e semi-detallhe. Dorr & Barbosa (1963) subdividiram estratigraficamente as litologias desta região de acordo com as propostas de Dorr *et al.* (1957), ou seja, Série Rio das Velhas, conjunto de xistos mais antigos, e Série Minas (da base para o topo: Grupos Caraça, Itabira e Piracicaba). Denominaram de "Granito Borrachudos" a rocha de composição granítica situada a noroeste de Itabira, considerando-a como mais jovem, intrusiva nas Séries Minas e Rio das Velhas. Kneidl & Schorscher (1972) não consideraram a sequência de xistos basais como pertencentes a Série Rio das Velhas e denominaram-na informalmente de Sequência de Xistos Verdes, incluindo-a no Supergrupo Minas. Chemale Jr & Quade (1986) e Chemale Jr. (1987a) confirmaram a presença de uma sequência vulcano-sedimentar na base do SGr. Minas da região de Itabira.

Schorscher (1975), Schorscher & Muller (1977) e Schorscher & Leterrier (1980) propuseram, para o "Granito Borrachudos", uma origem por infiltração metassomática similonítica. Chemale Jr. (1987a e b) classificou o "Granito Borrachudos" como uma rocha intrusiva arqueana (no embasamento granito-gnáissico) de características anorogênicas, com tendência alcalina a peralcalina, e que posteriormente teria sido deformado durante a orogênese Minas.

Nas regiões de Morro do Pilar e Santo Antônio do Rio Abaixo, os itabiritos foram correlacionados por Pflug & Renger (1973), Vilela *et al.* (1983), Vilela & Santos (1983), Dossin (1985), Chapadeiro *et al.* (1987) e Borba & Campos (1986), com a Fm. Cauê do SGr. Minas (definida no Quadrilátero Ferrífero por Dorr, 1969).

Schorscher (1975 e 1988) apresentou um mapa de isógradas referentes ao último metamorfismo regional na porção NE do Quadrilátero Ferrífero e borda sul da Serra do Espinhaço, mostrando as características progressivas deste metamorfismo e incluindo a área de estudo no intervalo entre as facies xisto-verde inferior (a oeste) e xisto-verde superior/anfibolito inferior (a leste).

Biondi *et al.* (1978) apresentaram análises químicas de elementos maiores de metabasitos da região de Ipoema (porção sudoeste da área de estudo) que foram consideradas como rochas alcalinas, ricas em Na_2O .

6 - COMPLEXO GNAISSICO-MIGMATITICO

Ocupa principalmente as porções nordeste e parte da porção sul da área de estudo, sendo constituído essencialmente por rochas gnáissicas e migmatíticas de composição *sensu latu* granítica. Pode-se dividir o Complexo em 2 domínios principais:

DOMINIO I - constitui grande parte do sul da área e está representado por gnaisses leucocráticos, biotita-gnaisses e *augen*-gnaisses;

DOMINIO II - ocupa a porção nordeste da área e partes das porções leste e sudeste. Constitui-se predominantemente por migmatitos estromáticos, localmente dictioníticos e dobrados (seg. terminologia de Mehnert, 1968)

Os termos gnaisse e migmatito são utilizados aqui no sentido de Turner & Gilbert (*in* Williams *et al.* 1982, p. 448) e de Ashworth (1985, p. 3), respectivamente, ou seja: Gnaisse é uma rocha "na maioria das vezes de granulação mais grossa do que xistos, onde minerais de hábito granular (notadamente quartzo, feldspato e em algumas rochas granada, hornblenda ou piroxênio) predominam largamente sobre filossilicatos - estes últimos sendo quase exclusivamente biotita e moscovita. A foliação, embora ainda conspicua em amostra de mão e afloramento, é menos regular do que em xistos. Micas ou hornblenda tendem a serem segregadas em níveis descontínuos e lentes encurvadas que suavemente ondulam em torno de porfiroclastos de granada ou olhos quartzo-feldspáticos..."; Migmatito é "uma rocha encontrada em áreas de médio e alto grau metamórfico, não homogênea sobre uma escala macroscópica, uma parte sendo de coloração clara e de composição quartzo-feldspática ou feldspática". Aplicando, desta forma, estes conceitos na área, resulta para o Domínio I uma predominância de ortognaisses homogêneos e no Domínio II de migmatitos retrabalhados.

Muitas vezes observam-se, próximo aos contatos entre o Complexo Gnáissico-Migmatítico e os metassedimentos e metabasitos, xistos quartzosos, localmente feldspáticos, sempre muito deformados e intemperizados, que devem representar, pelo menos em sua maioria, ultramilonitos retrometamórficos dos

gnaisses e migmatitos em zonas de cisalhamento. As vezes é possível observar saprólitos de gnaisses e migmatitos em meio a estes xistos, ou mesmo restos de texturas e mineralogia preservadas (Foto 01).

Corpos pequenos de anfibolitos máficos e ultramáficos, ocorrem localmente intercalados nos gnaisses e migmatitos.

6.1 - Domínio I

Na área predominam amplamente os gnaisses de composição granítica a granodiorítica, sendo mais restritos os tipos de composição tonalítica (Foto 02). No campo, foram identificados texturalmente 3 tipos de gnaisses:

Gnaisse leucocrático - com pequena quantidade de minerais máficos, de maneira que apresenta-se como rocha granular, quartzo-feldspática, de coloração esbranquiçada;

Biotita - gnaisse - apresenta maior quantidade de minerais máficos (biotita principalmente), o que confere a rocha uma coloração cinza. Os cristais de biotita ocorrem dispersos na rocha e/ou concentrados em níveis delgados e descontínuos;

Augen-gnaisse - caracteriza-se por apresentar grandes cristais de feldspato potássico (com até 1 cm de comprimento maior) e, em menor quantidade, de plagioclásio, envoltos em uma matriz fina. Os minerais máficos geralmente se concentram em níveis descontínuos que contornam os porfiroclastos de feldspato.

O nível de detalhe deste trabalho e o avançado grau de alteração intempérica na região deste Domínio não permitiram uma delimitação destes tipos de gnaisses no mapa, bem como a definição de suas relações de contato. Mesmo assim, admite-se uma origem intrusiva original para os contatos, baseando-se no seu caráter ortoderivado. Petrograficamente todos eles apresentam, no geral, características semelhantes, tanto quanto às suas feições texturais quanto mineralógicas, de maneira que serão descritos em conjunto no próximo item.

FOTO 01 - Ultramilonito-misto, produto da transformação retrometamórfica de rochas migmatíticas do Complexo Gnáissico-Migmatítico. No centro da foto observa-se restos de feldspato potássico com inclusões de plagioclásio saussuritizado. - Amostra do afloramento M-150 - Polarizadores cruzados (PC) - Aumento de 25x.

FOTO 02 - Biotita-gnaiss tonalítico, com textura milonítica, do Complexo Gnáissico-Migmatítico. - Amostra do afloramento M-222 - PC - Aumento de 25x.

Em alguns gnaisses ocorrem veios ou até mesmo diques (com até 5cm de largura) aplíticos a pegmatóides, de composição granítica que, as vezes, cortam a foliação dos gnaisses embora apresentem-se metamorfisados.

6.1.2 - Petrografia

As texturas dos gnaisses são sempre miloníticas *sensu lato* (protomilonitos, milonitos ou ultramilonitos, no sentido de Sibson, 1977) ou granolepidobláticas, onde se destacam porfiroclastos de feldspato potássico e plagioclásio (grãos com até 6 mm de comprimento maior) em meio a uma matriz constituída essencialmente por grãos de quartzo recristalizados além de cristais pequenos de feldspatos e de minerais máficos.

Os porfiroclastos de feldspato potássico são quase sempre pertíticos e apresentam geminação "em grade" (microclinio) muitas vezes restrita às bordas do grão. Nos *augen*-gnaisses estes porfiroclastos apresentam-se geralmente subarredondados, contornados pela foliação e às vezes estirados (apresentando fraturas geradas por *pull apart*). Possuem inclusões de plagioclásio saussuritizado, de quartzo e algumas vezes de biotita, clorita e, eventualmente de minerais acessórios (alanita, zircão, etc...). Nos gnaisses leucocráticos e biotita-gnaisses os porfiroclastos de feldspato-K são xenomórficos a hipidiomórficos e muitas vezes orientam-se paralelamente à foliação da rocha. Podem conter inclusões de aglomerados de cristais de plagioclásio saussuritizados e de microclinio, o que pode indicar gerações distintas de feldspato-K. Inclusões fluidas muito pequenas (2 a 4 micra) são comuns nos porfiroclastos de feldspato-K de todos os gnaisses e apresentam-se geralmente dispostas em planos dentro do cristal. São comuns também mirmequitas lobulares inclusas ou nas bordas de porfiroclastos de feldspato-K.

O plagioclásio ocorre também principalmente como porfiroclastos, embora cristais pequenos na matriz sejam comuns. Estão sempre fortemente saussuritizados (aglomerados constituídos por sericita + epidoto + clinozoisita + albita +- biotita +- clorita). Predominam grãos hipidiomórficos a

subarredondados, contornados pela foliação. Alguns grãos apresentam geminação polissintética quase sempre arqueada ou microcisaçada. Inclusões de microclina podem ocorrer no plagioclásio.

Biotita castanho-avermelhada é o principal mineral máfico e define a foliação da rocha. Apresenta alteração principalmente para clorita ou moscovita, mas também para biotita verde. Epidoto e clinozoisita ocorrem tanto inclusas em plagioclásio como em bandas associadas com a biotita. Minerais opacos são comuns e alguns deles apresentam alteração para leucoxênio e titanita. No biotita-gnaíse tonalítico milonitizado do ponto M-222 ocorre também cristais de tremolita em associação com biotita, epidoto e titanita.

Os minerais acessórios incluem ainda apatita, rutilo e alanita (geralmente alterada para epidoto + clinozoisita) e zircão. Este último apresenta duas ou três fases de sobrecrecimento, que tem geralmente cor avermelhada contrastando com um núcleo mais "limpo".

6.2 - Domínio II

Os três tipos de migmatitos identificados foram caracterizados com base na classificação estrutural de Mehnert (1968) e descritos utilizando-se adicionalmente o conceito de mesossoma de Johannes & Gupta (1982). Desta maneira, os termos migmatitos estromáticos, dictioníticos e dobrados são usados aqui como:

Estromático - o leucossoma forma camadas claras no mesossoma e melanossoma, geralmente paralelas aos planos de xistosidade. As camadas de leucossoma são, quase sempre, irregulares (quanto a sua espessura) e descontínuas;

Dictionítico - o mesossoma é entrelaçado por veios de leucossoma que estão arranjados em "rede";

Dobrado - o leucossoma ocorre em meio ao mesossoma e/ou melanossoma, na forma de dobras descontínuas, de charneiras espessadas.

Mesossoma é utilizado aqui no sentido de Johannes & Gupta (1982), ou seja: "porção da rocha de cor intermediária entre o

leucossoma mais claro e o melanossoma mais escuro". Melanossoma geralmente ocorre entre o leucossoma e o mesossoma e apresenta-se quase sempre como níveis delgados onde se concentram minerais máficos, na área principalmente filossilicatos.

6.2.1 - Petrografia

Leucossoma

Em todos os migmatitos o leucossoma apresenta uma coloração clara e granulação mais grossa que o mesossoma. Constitui-se essencialmente por microclinio + quartzo + plagioclásio (Anexo III). É sempre inequigranular com porfiroclastos relativamente grandes destacando-se em uma matriz quartzo-feldspática fina. No extremo nordeste da área, no entanto, a intensa recristalização provoca uma diminuição no tamanho dos porfiroclastos tornando a rocha mais equigranular. As texturas são metamórficas, granoblásticas ou miloníticas *sensu lato*, com predominância de porfiroclastos estirados ductilmente.

Os porfiroclastos de microclinio (com até 8 mm de comprimento maior) apresentam geminação "em grade" e contêm inclusões de quartzo e plagioclásio. Inclusões de cristais pequenos de microclinio podem também ocorrer localmente, o que indica fases distintas de geração de feldspato potássico. Neste caso observa-se que os cristais de microclina maiores possuem teores mais altos de albita peritítica, além de geminação "em grade" menos expressiva do que nos grãos inclusos. Muitos porfiroclastos são ricos em inclusões fluidas que se concentram em determinadas porções do cristal. São comuns grãos intercrescidos com plagioclásio, bem como cristais substituídos por mirmequitas. Cristais pequenos na matriz apresentam-se recristalizados e não são peritíticos nem contêm inclusões fluidas, sendo os contatos entre os grãos retos de 120°. Estas feições texturais tem sido destacadas por Schorscher (1975 e 1988) às quais tem atribuído, em parte, uma origem por processos metamórficos e metassomáticos, com fases distintas de gerações de feldspato potássico.

Os porfiroclastos de plagioclásio possuem muitas vezes geminação polissintética e tem granulação menor que os microclínios, de maneira que os maiores grãos tem cerca de 2 mm. Podem conter inclusões de microclínio, quartzo e localmente de plagioclásio, indicando possivelmente diferentes gerações de plagioclásio. Os cristais de plagioclásio apresentam-se, geralmente, parcialmente saussuritizados para sericita/moscovita (principalmente) e para cristais pequenos de epidoto e clinozoisita em matriz albitica. Nos migmatitos mais a leste, o carbonato é o principal produto de alteração do plagioclásio.

Os minerais máficos são subordinados no leucossoma, sendo os filossilicatos moscovita, biotita e clorita os minerais mais frequentes. A biotita possui cor castanho-avermelhada e pode muitas vezes apresentar-se sagenitizada com agulhas de rutilo inclusas, resultado da liberação de Ti por retrometamorfismo (seg. Miyashiro, 1973). A clorita apresenta uma birrefringência anômala e pleocroísmo verde nítido, indicando tratar-se de uma clorita da série penina-grochaulta. Esta clorita se formou às custas da biotita, mimeticamente sobre cristais retrometamorfisados de biotita, como se pode notar pelos cristais de clorita com inclusões de rutilo. Em alguns casos esta substituição foi completa, não se observando mais nem restos de biotita. A moscovita se forma também por substituição da biotita.

Outros minerais máficos acessórios observados incluem pequenos e raros minerais opacos, titanita, alanita e zircão, que podem ocorrer separadamente ou associados e localmente em uma ou outra amostra.

Mesosoma

Diferencia-se do leucossoma por apresentar uma granulação mais fina e um teor maior de minerais máficos, o que confere a esta porção da rocha uma coloração cinza. Texturalmente, no entanto, são poucas as diferenças com o leucossoma já que as características mineralógicas e as relações entre os grãos de quartzo e feldspatos são muito parecidas. Os feldspatos apresentam-se como porfiroclastos (de até 2 mm de comprimento

maior) e como grãos pequenos recristalizados na matriz. A recristalização maior nos migmatitos do extremo leste da área, faz com que praticamente desapareçam os porfiroclastos. Também no mesossoma observa-se pelo menos duas gerações de microclinio e eventualmente de plagioclásio.

A biotita castanho-avermelhada é o mineral máfico principal que constitui cerca de 10 a 25% da rocha. Define a foliação da rocha que é paralela ao contato com o leucossoma e melanossoma nos migmatitos estromáticos, pode ser discordante nos migmatitos dictioníticos e é plano axial nos migmatitos dobrados. Apresenta alteração principalmente para biotita verde + epidoto + titanita, mas também para mica branca + opacos e, mais raramente, para clorita. Em algumas rochas mais milonitizadas a substituição pode ser completa. Inclusões de zircão e apatita são comuns na biotita.

Epidoto e clinozoisita podem também ser constituintes importantes (até cerca de 5% da rocha) nos migmatitos na região central da área, desaparecendo progressivamente naqueles do extremo leste. A alteração de plagioclásio por carbonatos aumenta nestas rochas do leste. Anfibólio cálcico (tschermakita) é importante no mesossoma dos migmatitos do extremo leste da área, apresentando-se associado com biotita e contendo inclusões de biotita, titanita, quartzo, plagioclásio e apatita. Este fenômeno descrito acima está relacionado ao processo de metamorfismo progressivo regional, onde os minerais epidoto e clinozoisita desaparecem por reassimilação de clinozoisita nos plagioclásios cálcicos metamórficos e de epidoto no anfibólio tschermakítico.

Alanita, apatita, zircão e minerais opacos (magnetita, ilmenita) são acessórios comuns, além de ocorrerem, ocasionalmente, pirita e calcopirita. Os cristais de zircão possuem sobrecrecimentos e apresentam-se "sujos" de cor avermelhada (principalmente as bordas de sobrecrecimento).

Melanossoma

Ocorre, em geral, como níveis delgados (espessura de 0,2 a 1 cm), posicionados entre o leucossoma e o mesossoma e são

caracterizados principalmente por aglomerados de granulação mais grossa (relativamente ao mesossoma e o leucossoma), de filossilicatos. Predominam amplamente a biotita castanho-avermelhada, que pode estar alterada para moscovita e/ou biotita verde. Minerais do grupo do epidoto podem também ser constituintes importantes do melanossoma.

Os minerais filossilicáticos estão, em sua maioria, orientados paralelamente ao contato com o mesossoma e leucossoma.

6.3 - Anfibolitos

Foram distinguidos dois tipos de anfibolitos, de composição máfica e ultramáfica, que se associam aos gnaisses e migmatitos apresentando também feições polimetamórficas. sendo, desta forma, incluídos também no Complexo Gnáissico-Migmatítico

6.3.1 - Anfibolitos Máficos

Aparecem como corpos pequenos, lenticulares ou boudinados (decimétricos a métricos), intercalados nos gnaisses e migmatitos. Constituem-se essencialmente por hornblenda verde (tschermakita ?) e plagioclásio recristalizado, sendo a biotita castanho-avermelhada também um constituinte importante (até 20% da rocha). Os minerais acessórios e secundários subordinados incluem : quartzo, apatita, minerais opacos, titanita, epidoto, clinozoisita e microclínio. Nos anfibolitos intercalados nos gnaisses da porção sudoeste da área, observa-se que os plagioclásios estão intensamente alterados para sericita + albita e a hornblenda apresenta bordas de sobrecrescimento não pleocróicas (tremolita). Nestes anfibolitos podem aparecer também alguns cristais pequenos de microclínio. Nos anfibolitos intercalados nos migmatitos do nordeste da área desenvolveram-se, às vezes, grandes cristais de microclínio poiquilítico tardio e são ausentes as alterações retrometamórficas.

A presença de grande quantidade de biotita, de cristais de microclínio e da alteração de plagioclásio para sericita, sugere que estes anfibolitos tenham sofrido metassomatismo

potássico, provavelmente durante os processos de geração dos gnaisses e migmatíticos.

6.3.2 - Anfibolitos Ultramáficos

Foram encontrados dois corpos pequenos (métricos), próximos um do outro, na porção E-SE da área. Hornblenda é o mineral essencial e constitui mais de 90% da rocha. Os cristais apresentam partes internas mais fortemente pleocróicos que as bordas de sobrecrescimento (tremolita). Quartzo ocorre em quantidade menor que 5%, como grãos intersticiais e xenomórficos entre os cristais de anfibólio, ou como inclusões dentro deste último. Outros minerais que aparecem em quantidade bem reduzida são: titanita, biotita castanho-avermelhada, epidoto e apatita e minerais opacos. A textura da rocha é nematoblástica.

6.4 - Idade

Dorr & Barbosa (1963) consideraram as rochas gnáissicas e migmatíticas da região como mais jovens que as unidades da Série Minas e Rio das Velhas, baseando-se nas primeiras datações radiométricas realizadas (Herz & Dutra, 1958), que forneceram idades (K-Ar) em torno de 500 m.a.. Pflug (1965) englobou estas rochas no que ele definiu como Facies Guanhães, sendo representantes (paraderivados) do Geossinclinal Minas (Anexo I).

Desde Harder & Chamberlin (1915), no entanto, muitos autores tem atribuído uma idade Arqueana para as rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico. Esta idade é indicada indiretamente, já que o Complexo já se apresentava deformado e metamorfoisado durante a época de deposição dos SGr^a Espinhaço e Minas, este último caracteristicamente uma unidade do Proterozóico Inferior.

Poucos são os dados sobre datações radiométricas na área estudada. Uma idade de 1.917 ± 102 m.a. (Rb-Sr em rocha total) foi obtida por Teixeira et al. (1990) em um gnaisse da região de Santo Antônio do Rio Abaixo. Esta idade pode estar relacionada a eventos metamórficos de retrabalhamento de rochas mais antigas do Complexo.

7 - "GRANITOIDE BORRACHUDOS"

O "Granitóide Borrachudos" forma um corpo relativamente homogêneo, alongado na direção SW-NE e que ocupa boa parte da porção SE da área de estudo, constituindo um alto topográfico em relação aos gnaisses e migmatitos encaixantes. Seus contatos com as encaixantes do Complexo Gnáissico-Migmatítico são tectônicos, marcados por forte milonitização das rochas próximas ao contato.

Próximo as margens norte-noroeste do "Granitóide Borrachudos" ocorrem moscovita-xistos com "olhos" de quartzo (com até 1 cm de comprimento maior) de cor levemente azulada. Estes xistos apresentam-se muito deformados e alterados por intemperismo, o que dificultou sua caracterização de maneira mais precisa.

7.1 - Petrografia

Trata-se de um *augen*-gnaisse geralmente apresentando texturas granoblásticas, localmente protomilonítica a milonítica, onde se destacam grandes cristais de feldspato misto (mesopertitas) com até 1,5 cm de comprimento maior. Estas mesopertitas são notáveis por serem ricas em inclusões fluidas somente na fase potássica (Foto 03), fato este destacado por Schorscher (1975). Possuem inclusões de quartzo, de plagioclásio e localmente também de minerais opacos, de zircão, alanita, biotita, fluorita e carbonato. Mesopertitas com bordas de albita são observadas. Na porção oeste do corpo a rocha é rica em porfiroclastos de mesopertitas, sendo que a medida que se avança para leste observa-se progressivamente uma recristalização parcial dos porfiroclastos (Foto 04), dando origem a cristais pequenos de microclinio (isentos de inclusões fluidas) e plagioclásio sódico não geminado. Em algumas amostras do leste da área só se observam restos de mesopertitas (Foto 05) em meio a uma matriz quartzo-microclinio-plagioclásio intensamente recristalizada (com contatos de 120°).

FOTO 03 - "Granitóide" Borrachudos. Inclusões fluidas na fase potássica de um cristal de feldspato mesopertítico. Amostra do afloramento M-267 - PC - Aumento de 400x

FOTO 04 - "Granitóide" Borrachudos. Cristal de feldspato mesopertítico, com recristalização em sombra de pressão. Amostra do afloramento M-306. - PC - Aumento de 25x.

FOTO 05 - "Granitóide" Borrachudos. Restos de feldspato mesopertítico, com recristalização em sombra de pressão. - Amostra do afloramento M-306. - PC - Aumento de 25x.

FOTO 06 - "Granitóide" Borrachudos. Feldspato mesopertítico substituindo plagioclásio saussuritizado. - Amostra do afloramento M-184 - PC - Aumento de 50x.

Plagioclásios saussuritizados são constituintes menores na porção oeste do corpo onde também podem formar cristais relativamente grandes. Ocorrem geralmente como grãos geminados (geminção polissintética), intercrescidos ou inclusos em mesopertitas, que parecem substituí-lo (Foto 06). Apresentam-se, quase sempre, alterado (saussuritizado) parcialmente para sericita (principalmente) + albita, além de clinozoisita/epidoto ou carbonato. Estes plagioclásios também apresentam recristalização progressiva para leste dentro do corpo.

O quartzo ocorre principalmente como grãos pequenos recristalizados/poligonizados, mas também como grãos xenomórficos (algumas vezes ricos em inclusões fluidas) inclusos em mesopertitas e também na forma de *ribbons* com forte extinção ondulante.

Os minerais máficos estão, na maioria vezes, concentrados em níveis lineares, delgados e descontínuos, que contornam os porfiroclastos de feldspato mesopertítico. Na porção leste do corpo, no entanto, os minerais máficos não estão concentrados em bandas, passando para uma distribuição dispersa na rocha. A biotita é o principal mineral máfico que passa de uma biotita verde, nas partes oeste e central da área, para uma biotita castanha, no leste. Em uma amostra, na parte central do corpo (afloramento ponto M-158), os aglomerados de máficos constituem-se principalmente por magnetita + clorita, com biotita castanha sendo subordinada. Na amostra do ponto M-184, os máficos são principalmente biotita castanha + moscovita.

Localmente observou-se um anfibólio de cor azulada (tentativamente identificado por Schorsch, 1975, como riebeckítico), que ocorre como grãos pequenos associados aos agregados de minerais máficos. Os minerais acessórios incluem ainda ilmenita (geralmente alterada para leucoxênio), titanita, alanita, apatita, zircão e fluorita. A fluorita é um mineral típico no "Granitóide Borrachudos" e ocorre geralmente como cristais pequenos (dispersos ou em agregados) na matriz ou então inclusos em mesopertitas. Os zircões são bastante frequentes e formam cristais relativamente grandes (0,2 a 0,4 mm) que podem ou não apresentar sobrecrecimentos.

7.2 - Idade

Freyberg (1932: *apud* Schorscher, 1975) mapeou parcialmente o "Granitóide" Borrachudos, atribuindo-lhe uma idade Arqueana. Schorscher (1975) admitiu uma idade sintectônica ao período do metamorfismo regional Minas/Espinhaço. Chemale Jr. (1987a) propôs também uma idade Arqueana. Schorscher (1991) caracterizou uma idade no final do Arqueano para o "Granitóide" Borrachudos, a partir da observação de suas relações com o "Greenstone Belt" SGr. Rio das Velhas, bem como pela presença de xenólitos do "Granitóide" em tonalitos arqueanos tardios da região de Itabira.

Em relação ao Complexo Gnáissico-Migmatítico (na área de estudo) o "Granitóide" Borrachudos é mais jovem, já que sofreu apenas os efeitos do último evento metamórfico-deformativo regional. Admitindo-se uma idade arqueana, em acordo com os autores supracitados, a idade de geração do "Granitóide" Borrachudos deveria ser imediatamente posterior ao principal evento metamórfico arqueano e, provavelmente, anterior ao início da deposição dos Supergrupos Proterozóicos Minas e Espinhaço.

8 - METASSEDIMENTOS

Constituem grande parte das porções oeste e central da área de estudo e estão representados principalmente por quartzitos de vários tipos, além de xistos, filitos, metaconglomerados e itabiritos. Foi possível dividir os metassedimentos em unidades correlacionáveis aos SGr^s. Espinhaço e Minas. A unidade mais a oeste da área apresenta intercalações de metaconglomerados polimíticos intraformacionais (com seixos de quartzito, quartzo e itabirito) idênticos e contínuos (cf. Kneidl & Schorscher, 1972) àqueles descritos na região de Diamantina e arredores como constituintes da Formação Sopa-Brumadinho. Seguem-se para leste unidades denominadas informalmente de Unidade de Quartzitos Laminados, Unidade de Quartzitos Bandados e Unidade de Moscovita-Xistos, que podem também ser colocadas dentro do Supergrupo Espinhaço porque possuem, entre outras coisas, intercalações do "filito hematítico", rocha conhecida apenas nas sequências basais deste Supergrupo. O SGr. Minas está representado principalmente por itabiritos, filitos e metadolomitos fortemente intemperizados.

Os contatos entre as unidades são tectônicos, caracterizados como zonas de cisalhamento dúcteis devidas a cavalgamentos de baixo a médio ângulo (10 a 50°). As espessuras reais das unidades não podem ser calculadas diretamente e até mesmo uma estimativa torna-se difícil devido ao grande número de cavalgamentos e dobramentos internos.

8.1 - Supergrupo Espinhaço

As unidades do Supergrupo Espinhaço foram denominadas, com exceção da Fm Sopa-Brumadinho, de acordo com o litofácies predominante. Uma unidade específica, no entanto, inclui também litologias típicas das outras unidades, denotando um caráter gradacional original entre todas elas.

8.1.1 - Formação Sopa-Brumadinho

Ocorre na porção oeste da área sendo constituída principalmente por quartzitos de granulação média a grossa, brancos a rosados, localmente apresentando estratificações cruzadas tabulares e frequentemente com intercalações de meta-orto e paraconglomerados polimíticos (Foto 07) a monomíticos. Estes metaconglomerados ocorrem como lentes descontínuas que diminuem em espessura e quantidade nas regiões mais a leste dentro desta unidade. Diminuem também o tamanho dos seixos e a diversidade deles, de maneira que as lentes mais a oeste são ricas em vários tipos de seixos, tais como itabirito, quartzito ferruginoso, quartzo, quartzito branco e quartzito rosa, enquanto nos metaconglomerados do leste predominam, progressivamente, os seixos de quartzo bem arredondados (Foto 08). As estratificações cruzadas nos quartzitos (Foto 09) indicam direções de corrente de oeste para leste.

O quartzo dos quartzitos ocorre geralmente na forma de grãos poligonizados, sendo que cristais tabulares e/ou com forte extinção ondulante são observados localmente. A sericita pode constituir cerca de 10% da rocha e geralmente se concentra em níveis delgados e descontínuos, definindo a foliação da rocha. Os minerais pesados mais comuns são: hematita, rutilo, turmalina, zircão e raramente titanita. São comuns grãos de turmalina zonados, com núcleos subarredondados fortemente pleocróicos e bordas idiomórficas fracamente pleocróicas. Na matriz dos metaconglomerados polimíticos são comuns cristais de magnetita parcial ou totalmente martitizadas.

8.1.2 - Unidade de Quartzitos Laminados

Possui direção aproximadamente N-S e tem maior distribuição areal na porção NW da área, adelgaçando-se para o sul até praticamente desaparecer, sendo possível encontrar-se uma pequena faixa desta unidade em meio aos gnaisses do embasamento.

FOTO 07 - SGr. Espinhaço. Fm. Sopa-Brumadinho. Metaparaconglomerado com seixos de quartzo e itabirito (centro da foto). - Afloramento M-18.

FOTO 08 - SGr. Espinhaço. Fm. Sopa-Brumadinho. Metaorthoconglomerado monomítico, com seixos de quartzo. - Afloramento M-6.

FOTO 09 - SGr. Espinhaço. Fm. Sopa-Brumadinho. Quartzito com estratificações cruzadas tabulares. - Afloramento M-18.

FOTO 10 - SGr. Espinhaço. Unidade de Quartzitos Laminados. Quartzito micáceo, muito laminado. - Afloramento M-3.

Trata-se de uma unidade composta principalmente por quartzitos micáceos, muito laminados (Foto 10), com intercalações delgadas de moscovita-quartzo-xisto e, localmente, também de quartzito hematítico (bandado ou não) e de quartzito arcossiano. A textura é predominantemente granolepidoblástica ou milonítica e a mineralogia é basicamente quartzo + sericita, com hematita, rutilo, turmalina e zircão, como minerais pesados. Localmente observou-se cristais de cianita que ocorrem fortemente orientados nos quartzitos mais milonitizados. Nos quartzitos arcossianos o feldspato potássico é o microclínio.

A única estrutura sedimentar preservada é uma laminação plano-paralela, marcada por níveis mais quartzosos ou mais micáceos, que é paralela à foliação tectônica. Localmente observa-se uma variação granulométrica nos níveis mais quartzosos, com diminuição progressiva da granulometria até os níveis mais micáceos.

8.1.3 - Unidade de Quartzitos Bandados

Ocupa uma faixa de direção NS na porção N da área, que inflete para quase EW na porção central. Pequenas faixas de quartzitos bandados são observados também, tectonicamente inseridos, em meio aos migmatitos na porção NE da área.

A Unidade de Quartzitos Bandados é constituída predominantemente por quartzitos de granulação fina, com bandas ricas em hematita (Foto 11). Geralmente contem intercalações de moscovita-quartzo-xisto e de quartzitos rosados ou branco laminados. Além de quartzo, moscovita e hematita, ocorrem como minerais detríticos pesados: turmalina, rutilo, zircão e, localmente, apatita e titanita. As texturas são também granolepidoblásticas ou miloníticas.

Na porção central desta unidade ocorrem intercalações de corpos de filitos ricos em hematita e muito pobres em quartzo (Foto 12), que, às vezes apresentam "manchas" brancas (aglomerados de sericita). Estes filitos são idênticos àqueles descritos na região de Diamantina como "filito hematítico" (Scholl & Fogaça, 1979), ao qual tem sido atribuída uma origem

vulcânica a sub-vulcânica (desde Derby, 1888: *apud* Scholl & Fogaça, *op.cit.*) devido ao seu modo de ocorrência, geoquímica particular (altos teores de TiO_2 - Hoppe, 1978: *apud* Scholl & Fogaça, *op.cit.*), além de preservar localmente restos de texturas ígneas e mineralogia primárias (ver discussão em Knauer, 1990). Knauer (*op.cit.*) aceita uma origem vulcânica original e defende que as características atuais destes filitos foram causadas por alterações intempéricas superimpostas por metamorfismo regional. Além de sericita + hematita foram observadas quantidades substanciais de turmalina e rutilo que, geralmente, se concentram em bandas paralelas à foliação.

8.1.4 - Unidade de Moscovita-Xistos

Tem maior distribuição areal na porção centro-leste da área, estreitando-se para o norte. Faixas pequenas desta unidade podem ser encontradas também nas porções central e oeste. Constitui-se principalmente por moscovita-xistos (Foto 13), pouco ou não quartzosos, contendo geralmente cristais de turmalina e magnetita. Os cristais de turmalina geralmente se concentram em bandas paralelas à foliação da rocha e tem origem metamórfica, já que são observados grãos crescidos sobre a foliação, embora predominem grãos orientados segundo ela. A magnetita também é metamórfica e são também encontrados grãos crescidos sobre a foliação, embora cristais pré ou cedo-cinemáticos (contornados pela foliação) também ocorrem. Os minerais detríticos subordinados incluem : hematita, rutilo, zircão e titanita.

Possuem também intercalações de "filito hematítico" e algumas vezes de quartzito hematítico bandado.

8.2 - Supergrupo Minas

Tem pequena distribuição na área, ocorrendo somente nos arredores das cidades de Morro do Pilar, Santo Antônio do Rio Abaixo e Itabira, além de faixas pequenas isoladas na sua porção E-SE. Para a região de Itabira adotou-se a divisão estratigráfica proposta originalmente por Dorr & Barbosa (1973)

FOTO 11 - SGr. Espinhaço. Unidade de Quartzitos Bandados.
Quartzito com bandas ricas em hematita. - Afloramento M-427.

FOTO 12 - SGr. Espinhaço. Unidade de Quartzitos Bandados.
"Filito hematítico". - Amostra do afloramento M-122. - PC -
Aumento de 25x.

e parcialmente modificada por Schorscher (1975), ou seja, da base para o topo:

- . Unidade "Sequência de Xistos Verdes" - xistos verdes carbonáticos, xistos grafitosos, metatufos máficos e quartzitos micáceos;

- . Grupo Caraca - quartzitos e xistos

- . Grupo Itabira (Fm Cauê) - itabirito, itabirito dolomítico e xistos;

- . Grupo Piracicaba (Fm Cercadinho) - quartzito, quartzomoscovita-xisto, filito, subordinados meta-conglomerado e itabirito.

Em Santo Antônio do Rio Abaixo e na porção E-SE da área, o SGr. Minas está representado por faixas de itabiritos em meio a ultramilonito-xistos de gnaisses e migmatitos do embasamento. Na região de Morro do Pilar ocorrem, sobrepostos aos itabiritos da Fm. Cauê, metadolomitos muito alterados por intemperismo (ao norte) e quartzo-hematita-filitos (para o sul), que podem ser correlacionados com a Fm Gandarela e, tentativamente, com a Fm. Cercadinho, respectivamente.

Os itabiritos são constituídos essencialmente por quartzo e hematita em bandas (Foto 14) e subordinadamente por magnetitas parcialmente martitizadas, que são mais frequentes nas bandas quartzosas.

8.3 - Discussão de um Modelo Evolutivo Depositional e da Correlação entre os SGr². Espinhaço e Minas

8.3.1 - Supergrupo Espinhaço

Embora todos os contatos entre as unidades sejam tectônicos, observa-se, em toda a sequência, uma passagem gradativa e progressiva (de oeste para leste) de rochas de granulação grossa (representados por quartzitos com freqüentes intercalações de metaconglomerados polimíticos) para rochas de granulação mais fina (quartzitos finos laminados e bandados, e moscovita-xistos).

O fato da recorrência da Unidade de Moscovita-Xistos nas porções oeste e central da área, que sempre aparece nas zonas de

FOTO 13 - SGr. Espinhaço. Unidade de Moscovita-Xistos.
Afloramento M-56.

FOTO 14 - SGr Minas. Itabirito. Bandas ricas em hematita e
outras ricas em quartzo. - Afloramento M-398 - Luz
refletida. Aumento de 25x.

falha, sugere que esta Unidade encontra-se também abaixo da Fm. Sopa-Brumadinho e das Unidades de Quartzitos Laminados e Quartzitos Bandados, evidenciando uma progressão das facies sedimentares mais continentais - sedimentos de granulometria grossa a conglomerática, com estratificações cruzadas - sobre facies sedimentares mais distais - pelíticas. Evidências de magmatismo nas partes mais distais é indicado pela presença dos corpos de "filito hematítico".

8.3.2 - Supergrupo Minas

A presença de rochas formadas a partir de precipitados químicos (itabirito, dolomito), com subordinados sedimentos detríticos, indica um ambiente marinho. Dorr (1969) interpretou um ambiente de plataforma estável para a deposição do SGr. Minas na região do Quadrilátero Ferrífero. No entanto, Schorscher (1975) descreve níveis de tufos máficos a intermediários, intercalados na Fm. Cauê da região de Itabira, o que evidencia atividade vulcânica subordinada durante a deposição dos Itabiritos. A presença de intensa atividade vulcânica na base do SGr. Minas na região de Itabira, foi descrita por Kneidl & Schorscher (1972), Schorscher (1975) e Chemale Jr. (1987a), indicando um ambiente tectonicamente ativo, pelo menos no início da deposição Minas. Pires et al. (1984) também descreveram rochas de origem vulcânica, intercaladas nos metadolomitos da Fm. Gandarela (na extremidade sul do Quadrilátero Ferrífero).

8.3.3 - Correlação Espinhaço x Minas

A correlação entre os SGr^s Espinhaço e Minas tem sido polêmicamente discutida, desde o início do século (ver Anexo I).

Na área estudada, o contato entre as unidades pertencentes aos SGr^s Espinhaço e Minas somente pode ser observado na estrada Morro do Pilar - Belo Horizonte, a cerca de 2 Km da cidade de Morro do Pilar (afloramento ponto M-285). Neste local o contato é tectônico e se dá através do cavalgamento do SGr. Minas sobre o SGr. Espinhaço, caracterizado por intensa milonitização das rochas envolvidas.

Desta forma, uma correlação direta no campo não pode ser feita. No entanto, se considerarmos todo o pacote metassedimentar estudado, englobando os dois Supergrupos, observa-se uma diminuição progressiva da granulometria dos sedimentos, de oeste para leste, desde sequências quartzíticas conglomeráticas, passando por quartzitos finos e xistos, até precipitados químicos predominantes. Observa-se ainda um aumento no teor de hematita e/ou magnetita nos metassedimentos, de oeste para leste, até o aparecimento de itabiritos típicos. A presença de atividade magmática nas partes mais internas da bacia, seria documentada não só pela presença do "filito hematítico", como também pela Unidade de Xistos Verdes, além de metatufos máficos e intermediários intercalados na Fm Cauê (cf. Schorscher 1975) e Fm. Gandarela (cf. Pires *et al.*, 1984).

A Fig. 02a apresenta o esboço de um modelo evolutivo sedimentar para as unidades dos SGr^s. Espinhaço e Minas na área estudada, onde se destaca uma progradação das facies continentais (quartzíticas conglomeráticas) sobre facies marinhas (pelíticas), que poderiam estar relacionadas com variações (recuos) no nível do mar. Nas partes mais distais, a deposição de itabiritos seria precedida de intensa atividade vulcânica.

Os seixos de itabirito nos metaconglomerados da Fm. Sopa-Brumadinho, na área, não podem, desta maneira, se originar do retrabalhamento dos itabiritos no leste. No entanto, Soares F^o (1987) descrevem, na região de Conceição do Mato Dentro (imediatamente ao norte da área estudada), itabiritos intercalados em quartzitos hematíticos bandados, estes últimos muito semelhantes e aparentemente contínuos com os quartzitos descritos neste trabalho e englobados na Unidade de Quartzitos Bandados. Da mesma forma, Guimarães & Santos (1988) e Almeida Abreu *et al.* (1989) também descrevem itabiritos intercalados na Fm. Sopa Brumadinho na região entre Serro e Itapanhoacanga. Almeida Abreu *et al.* (1989) ainda destacam a ocorrência de itabiritos em várias unidades correlacionáveis ao Supergrupo Espinhaço, na região a leste de Diamantina. Tais dados indicam a presença de itabiritos em vários ambientes durante a sedimentação Espinhaço/Minas, particularmente nos intervalos

representados pelas unidades Fm. Sopa-Brumadinho, Gr. Itabira e estrato-correlatos, o que explicaria os seixos de itabirito nos metaconglomerados do oeste da área.

A Fig.02b mostra um perfil esquemático da situação atual da área, com o empilhamento das unidades após os efeitos tectônicos compressivos regionais.

Através dos dados levantados neste trabalho não se pode descartar a possibilidade de que as sequências litológicas do SGr. Minas, na área estudada, sejam mais antigas e simplesmente sobrepostas tectonicamente ao SGr. Espinhaço. Entretanto, estes dados, conjuntamente com os outros resultados citados, favorecerem os modelos de Harder & Chamberlin (1915), Pflug (1965), Schorscher (1975 e 1988) e Almeida Abreu *et al* (1989), que consideram os SGr^s Espinhaço e Minas como equivalentes laterais de facies penecontemporâneas (ver Anexo I).

8.3.4 - Idade

Embora não se tenha dúvida quanto a idade do SGr. Minas, considerado por todos os autores como Proterozóico Inferior (devido às ocorrências de formações ferríferas tipo Lago Superior - Fm. Cauê - e metaconglomerados com pirita detrítica - Fm. Moeda), muitas dúvidas existem ainda sobre a idade da deposição do SGr. Espinhaço. As rochas meta-ácidas datadas na região de Conceição do Mato Dentro (em torno de 1.700 m.a. - Brito Neves *et al.* 1979 e Machado *et al.* 1989b) considerada por alguns autores como a idade da abertura inicial do *rift* Espinhaço estão muito pouco conhecidas quanto ao seu posicionamento estratigráfico, sua mineralogia/petrografia e geoquímica, de maneira que é ainda arriscado tomá-las como um marco da sedimentação do SGr. Espinhaço. Herrgesell (1985), por exemplo, que estudou petrograficamente e geoquimicamente estes magmatitos ácidos considerou-os como tardi-orogênicos no desenvolvimento da cadeia Espinhaço.

LEGENDA

Supergroup Espinhaco

- Formação Sopa-Brumadinho
- Unidade de Quartzitos Laminados
- Unidade de Quartzitos Bandados
- Unidade de Moscovita-Xistos
- "filito hematítico"

Supergroup Minas

- Gr. Caraca, Itabira e Piracicaba (pró-
parte)
- Unidade de Xistos Verdes

FIGURA 02 - a) Esboço de um modelo evolutivo deposicional para as unidades dos SGr^e Espinhaco e Minas; b) Perfil geológico esquemático da área de estudo, mostrando o empilhamento das unidades após os efeitos compressivos regionais.

Neste trabalho admite-se (em acordo com os autores que correlacionam os SGr^a. Espinhaço e Minas) que pelo menos as porções basais do SGr. Espinhaço tenham se depositado também no Proterozóico Inferior.

9 - METABASITOS

As rochas tratadas aqui como metabasitos constituem espessos corpos intrusivos no Complexo Gnáissico-Migmatítico, no "Granitóide" Borrachudos e nas unidades metassedimentares proterozóicas (SGr^a. Espinhaço e Minas). Incluem-se no conjunto de rochas descritas originalmente por Guimarães (1933) como "anfibolitos diabasóides". Sua natureza pré-tectônica é atestada pelos corpos foliados e milonitizados concordantes estruturalmente com os metassedimentos, além do fato de terem sofrido os efeitos do metamorfismo regional progressivo, que na área de estudo varia de facies xisto verde a anfibolito.

Os afloramentos de metabasitos, embora abundantes, não são contínuos entre si, de maneira que para delimitação dos corpos utilizou-se muitas vezes a distribuição de um solo laterítico avermelhado que se distingue perfeitamente bem em fotografias aéreas (e no campo) quando presente nas faixas quartzíticas. Nas faixas gnáissicas os corpos de metabasitos distinguem-se além do solo avermelhado, em contraste ao solo geralmente rosado do gnaisses, por serem mais resistentes ao intemperismo e, por isto, constituírem, muitas vezes, cristas em meio aos gnaisses mais peneplanizados.

São comuns, nos corpos maiores das porções central e sudoeste da área, pequenas faixas de quartzitos em meio aos metabasitos. Os contatos neste caso estão sempre obliterados por intenso intemperismo, de maneira que qualquer interpretação não pode ser provada (pelo menos a partir dos afloramentos encontrados). Podem tratar-se, no entanto, de xenólitos de quartzitos englobados durante a colocação (intrusão) dos metabasitos, ou de "tetos pendentes" posteriormente deformados. No ponto M-393 (próximo a São Sebastião do Rio Preto) observou-se um "teto pendente" e um xenólito de migmatito, ambos associados a uma soleira de metabasito porfirítico (amostra M-393A). Neste mesmo ponto, esta soleira é cortada por um dique de metabasito de granulação bem mais fina (amostra M-393).

9.1 - Petrografia

Tratam-se de rochas básicas metamorfisadas e deformadas, com estrutura maciça ou foliada, localmente porfiríticas (fenocristais de plagioclásio), cuja mineralogia ígnea primária foi quase que totalmente substituída por minerais metamórficos. Somente nos metabasitos da porção oeste da área pode-se observar restos da mineralogia e de texturas primárias tais como: cristais de clinopiroxênio (augita e pigeonita), e ocasionalmente ortopiroxênio, parcialmente substituídos por tremolita e actinolita (Foto 15); pseudomorfos de plagioclásio magmático saussuritizados; e texturas ofítica e subofítica reliquias. Predominam nesta porção os corpos maciços somente com bordas localmente foliadas.

Os metabasitos da porção central da área, onde é progressivamente maior a ocorrência dos tipos foliados e milonitizados (Foto 16), não apresentam mais restos de mineralogia primária. São comuns: presença de plagioclásio sódico parcialmente recristalizado (Foto 17), cristais de hornblenda com textura pseudo-mortar, além de intensa transformação de ilmenita e titano-magnetita em leucoxênio e titanita. Localmente observa-se também texturas primárias modificadas (blasto-ofítica e blasto-subofítica).

Na região leste, os metabasitos alcançaram sua máxima transformação apresentando-se como anfibolitos foliados. Os plagioclásios estão recristalizados e os cristais de hornblenda (tschermakita) fortemente orientados (Foto 18).

Biotita pode ser um constituinte metamórfico importante nos metabasitos mais evoluídos e a clorita associa-se a biotita nas rochas, de baixo grau, mais milonitizadas. Apatita é um acessório comum em todos os metabasitos e o quartzo ocorre principalmente como produto secundário resultante da uralitização de piroxênios. Sulfetos (pirita e calcopirita) são mais comuns nas rochas de mais baixo grau metamórfico.

FOTO 15 - Metabasito. Restos de cristais de augita (esquerda) e ortopiroxênio (direita) parcialmente substituídos por tremolita/actinolita. - Amostra do afloramento M-238 - PC - Aumento de 25x.

FOTO 16 - Metabasito com textura milonítica. No centro da foto um cristal de actinolita rotacionado. - Amostra do afloramento M-291 - PC - Aumento de 25x.

FOTO 17 - Metabasito. Plagioclásio (centro) parcialmente recrystalizado e cristais de hornblenda tschermakítica com textura pseudo-mortar. - Amostra do afloramento M-328 - PC - Aumento de 25x.

FOTO 18 - Metabasito/anhfibolito. Plagioclásio totalmente recrystalizado (poligonizado) e cristais pequenos de hornblenda tschermakítica orientados. - Amostra do afloramento M-376A. - PC - Aumento de 25x

9.1.1 - Características Mineralógicas

ANFIBOLIOS : se formaram, na sua maioria, em substituição a clinopiroxênios, e mais raramente ortopiroxênios, primários. Nos corpos de mais baixo grau metamórfico predominam os anfibólios tremolita (incolor) e actinolita (pleocroísmo fraco, verde claro), geralmente na forma de agregados de cristais pequenos envolvendo restos de piroxênios.

Na porção central da área coexistem tremolita/actinolita com hornblenda castanha-esverdeada. Esta última ocorre como cristais pequenos idiomórficos, isolados, ou cristais maiores, xenomórficos, associados com tremolita e actinolita, aparentemente substituindo-a. A medida que se avança mais para leste, a hornblenda (com pleocroísmo verde intenso) passa a predominar, até tornar-se o único anfibólio da rocha.

Nos anfibolitos da porção leste da área e mesmo nos tipos milonitizados da porção central, são comuns cristais, de hornblenda verde (tschermakita) poiquilítica com inclusões de quartzo e mais raramente de biotita, titanita e epidoto. Os cristais de hornblenda poiquilítica apresentam-se geralmente estirados e/ou contornados pela foliação da rocha (definida principalmente pela orientação de cristais prismáticos de hornblenda), indicando sua origem pré ou cedo cinemática. Cristais prismáticos de hornblenda crescidos sobre a foliação, embora pouco comuns, podem também ocorrer. Textura do tipo pseudo-mortar em porfiroclastos de hornblenda ocorrem com frequência nos metabasitos da porção central e leste da área.

PLAGIOCLASIO : não se observam mais restos de cristais de plagioclásio com composição primária (ígneia). Nos metabasitos do oeste da área são comuns pseudomorfos de cristais intensamente substituídos por uma massa de grãos pequenos de epidoto + clinozoisita + quartzo em matriz albitica (saussuritização). Localmente são encontrados cristais grandes (até 2 mm) de albita com muitas inclusões de epidoto + clinozoisita que as vezes se concentram na parte central do cristal de albita, podendo

representar pseudomorfos sobre antigos plagioclásios primários zonados.

A medida que se avança para a porção central da área os grãos individualizados (hipidiomórficos) de plagioclásio (albita ?) passam a predominar sobre a albita de saussuritização. Nos metabasitos mais a leste observa-se recristalização parcial dos plagioclásios metamórficos até sua recristalização total nos anfibolitos do extremo leste da área. Nestes anfibolitos os grãos pequenos de plagioclásio apresentam contatos poligonais, regulares de 120° .

Nos tipos porfiríticos do oeste observa-se cristais de plagioclásio (saussuritizados) com até 1,5 cm de comprimento maior. Naqueles corpos do leste os fenocristais estão intensamente recristalizados.

PIROXENIOS : Somente aparecem nos corpos de mais baixo grau metamórfico da porção oeste da área, sempre parcialmente envolvidos/substituídos por cristais de tremolita e actinolita. Predominam o piroxênio do tipo augita, sendo subordinados a pigeonita e a augita subcálcica (2V entre 30° e 40°), além de ortopiroxênio raro. Em uma lâmina (amostra M-9) observou-se pigeonita inclusa em augita.

BIOTITA : Aparece como constituinte importante somente nas rochas mais evoluídas (ver item 9.2) e ocorre geralmente em associação com anfibólios (tremolita, actinolita e hornblenda) aparentemente substituindo-os, sendo observada sempre nas bordas dos anfibólios. Associa-se comumente também com leucoxênio e titanita em aglomerados envolvendo grãos de ilmenita e titanomagnetita. Possui pleocroísmo forte de cor castanho claro a escuro, sendo comum inclusões de titanita (com halos pleocróicos) e epidoto, além de grãos sagenitizados (inclusões de agulhas de rutilo).

Nos corpos foliados e/ou milonitizados, a biotita orienta-se paralelamente à foliação da rocha, ajudando a defini-la. Nestas rochas deformadas pode-se encontrar grãos de biotita com extinção ondulante. Apresenta substituição para clorita, principalmente nas rochas milonitizadas onde esta substituição

se da preferencialmente nos planos C (de cisalhamento - ver item 11).

EPIDOTO e CLINOZOISITA : se formaram principalmente como produto de alteração metamórfica de plagioclásio cálcico primário. Nas amostras de metabasitos da porção oeste ocorrem em aglomerados de cristais pequenos prismáticos, sempre associados a albita de saussuritização. A medida que se avança para leste, e principalmente nos tipos milonitizados, começam a aparecer cristais maiores de epidoto (com até 0,6 mm) e de clinozoisita (até 0,2 mm). Nos anfibolitos do leste da área estão praticamente ausentes, sendo encontrados somente poucos e pequenos cristais de clinozoisita. O desaparecimento destes minerais para leste está relacionado à progressividade do metamorfismo, de maneira que a clinozoisita fornece Ca para a formação do plagioclásio metamórfico e o epidoto fornece Fe e Al para a hornblenda tschermakítica.

Alguns raros cristais mostram extinção ondulante, ou geminação. Nos milonitos observa-se alguns grãos contornados pela foliação.

MINERAIS OPACOS : o principal mineral opaco é a ilmenita, seguida de titano-magnetita e de sulfetos (pirita e calcopirita). A ilmenita e a titanomagnetita apresentam-se geralmente como grãos xenomórficos esqueléticos envolvendo grãos de anfibólio e pseudomorfos de plagioclásio cálcico. Altera-se geralmente para leucoxênio, titanita e, em menor quantidade, biotita.

Os sulfetos pirita e calcopirita ocorrem como grãos pequenos dispersos e às vezes intercrescidos mutuamente, inclusos em anfibólio ou então como grãos livres intersticiais. Não foram observados nos metabasitos (anfibolitos) da porção leste da área.

TITANITA E LEUCOXENIO : Se formaram principalmente em substituição a ilmenita e titanomagnetita primárias e ocorrem geralmente em torno destes minerais opacos. Esta substituição é mais avançada nos metabasitos da porção central da área e nas

rochas mais deformadas (milonitizadas), diminuindo nos metabasitos em facies anfibolito. Observa-se também que leucoxênio predomina sobre titanita nos metabasitos da porção oeste e central da área, enquanto titanita passa a predominar nos anfibolitos do leste.

CLORITA : ocorre sempre associada com a biotita, substituindo-a. Esta substituição é maior nas rochas milonitizadas da porção central da área, sendo ausente nos anfibolitos do leste. Apresenta um pleocroísmo marcante de cor verde claro e cores de interferência anômalas, tratando-se de cloritas da série penina-grochaulta.

QUARTZO : aparece em quantidade pequena em todos os corpos de metabasitos, geralmente na forma de grãos xenomorfos ou agregados de grãos recristalizados, dependendo do estado e grau de metamorfismo e deformação da rocha.

APATITA : ocorre na forma de "agulhas" ou cristais idiomorficos a subarredondados, em todas as amostras de metabasitos.

9.2 - Geoquímica

A tabela 01 apresenta as análises químicas, com respectivas normas, das amostras de metabasitos. De um total de 11 amostras selecionadas, foram analisados os elementos maiores, traços e terras raras de 7 delas, sendo que em 4 só os elementos maiores e terras raras (os limites de detecção para cada elemento analisado, encontram-se no Anexo II). As amostras foram escolhidas de tal maneira que todos os tipos petrográficos estivessem representados, ou seja, rochas com diferentes graus de deformação e metamorfismo. Estão colocadas na tabela 01 segundo sua posição no mapa da área (de oeste para leste), de modo que as análises mais à esquerda se referem às amostras em facies de metamorfismo mais baixo e que preservam ainda algumas texturas e minerais primários, enquanto aquelas mais à direita

	M-224	M-238	M-177	M-9	M-7	M-79	M-96	M-328	M-376A	M-393	M-393A
SiO ₂	47.59	47.97	47.40	48.32	48.74	48.02	45.02	48.75	48.04	47.04	50.22
TiO ₂	2.35	1.79	3.34	2.63	2.21	2.55	5.08	2.00	1.72	3.71	1.93
Al ₂ O ₃	15.72	13.85	13.58	13.10	15.27	13.52	13.54	11.94	13.01	13.36	14.78
Fe ₂ O ₃	3.72	2.69	4.12	4.47	3.80	2.75	5.21	4.62	3.36	4.22	3.25
FeO	8.88	9.66	9.70	10.80	8.96	10.48	10.89	8.70	9.18	10.38	10.16
MnO	0.19	0.20	0.21	0.23	0.18	0.21	0.25	0.22	0.20	0.23	0.20
MgO	5.49	7.08	6.13	5.43	4.59	5.95	5.64	8.02	8.51	5.60	5.05
CaO	8.60	10.62	9.53	9.01	10.22	9.93	9.35	10.73	10.53	9.61	8.39
Na ₂ O	2.88	1.70	2.91	2.79	3.31	2.14	2.96	1.82	2.07	2.75	2.25
K ₂ O	0.58	0.60	0.75	1.07	0.77	0.85	0.58	0.30	0.30	0.48	1.06
P ₂ O ₅	0.32	0.20	0.58	0.52	0.39	0.47	0.59	0.26	0.30	0.61	0.26
LOI	2.54	3.05	1.87	1.42	1.06	2.04	1.67	1.67	1.74	1.40	1.55
TOTAIS	98.86	99.41	100.12	99.79	99.50	98.91	100.78	99.03	98.96	99.39	99.10
Mg#	44.45	51.09	44.90	39.50	39.79	45.01	39.22	52.64	55.41	41.31	40.75
	NORMA		CIPW								
Q	1.15	2.12	0.14	1.08	0	2.13	0	4.63	0.55	2.03	5.08
Or	3.43	3.54	4.43	6.32	4.55	5.02	3.42	1.77	1.77	2.83	6.26
Ab	24.36	14.38	24.61	23.59	27.99	18.1	25.03	15.39	17.51	23.25	19.03
An	28.25	28.38	21.77	20.05	24.52	24.76	21.93	23.51	25.31	22.68	27.09
Di	10.1	18.86	17.7	17.54	19.48	17.67	16.74	22.67	20.29	17.2	10.64
H ₂	18.42	21.3	15.91	17.08	9.74	19.24	12.62	18.27	22.93	15.39	20.44
Ol	0	0	0	0	1.53	0	0.76	0	0	0	0
Mt	5.4	3.91	5.98	6.49	5.52	3.99	7.57	6.71	4.88	6.13	4.72
Il	4.47	3.41	6.36	5	4.21	4.85	9.67	3.81	3.27	7.06	3.67
Ap	0.75	0.47	1.35	1.21	0.91	1.1	1.37	0.61	0.7	1.42	0.6
Cr	66	136	n.d.	n.d.	n.d.	99	n.d.	260	223	77	75
Ni	77	70	n.d.	n.d.	n.d.	83	n.d.	136	134	64	66
Co	54	55	n.d.	n.d.	n.d.	52	n.d.	65	61	49	52
V	285	322	n.d.	n.d.	n.d.	368	n.d.	383	317	370	222
Cu	45	89	n.d.	n.d.	n.d.	118	n.d.	120	55	60	87
Zn	113	108	n.d.	n.d.	n.d.	116	n.d.	132	101	144	139
Rb	12	16	n.d.	n.d.	n.d.	19	n.d.	1	3	7	37
Ba	294	184	n.d.	n.d.	n.d.	303	n.d.	105	82	173	387
Sr	651	259	n.d.	n.d.	n.d.	451	n.d.	347	429	378	306
Ga	21	18	n.d.	n.d.	n.d.	22	n.d.	18	19	22	22
Nb	25.0	14.0	n.d.	n.d.	n.d.	15.0	n.d.	11.0	9.0	28.0	12.0
Zr	168	118	n.d.	n.d.	n.d.	160	n.d.	133	110	194	173
Y	23	27	n.d.	n.d.	n.d.	30	n.d.	40	21	31	35
La	23.66	17.33	26.36	19.89	16.02	17.53	25.93	17.84	11.43	28.24	24.98
Ce	56.94	41.58	68.03	47.02	39.38	43.03	64.52	40.74	30.23	71.60	57.93
Nd	28.93	21.63	41.28	27.69	22.84	25.42	38.94	24.45	18.50	41.10	29.13
Sm	5.94	5.05	8.89	6.45	5.26	5.81	8.56	6.20	4.64	8.69	6.38
Eu	1.70	1.38	2.95	1.85	1.59	1.70	2.72	1.78	1.42	2.62	1.60
Gd	4.67	4.70	6.86	5.61	4.83	4.87	7.02	6.23	3.98	6.78	5.27
Dy	3.83	4.84	5.55	5.11	4.37	4.44	5.54	5.72	3.76	5.40	4.90
Er	1.91	2.69	2.63	2.84	2.27	2.20	2.63	3.12	1.92	2.46	2.47
Yb	1.41	2.29	1.93	2.30	1.88	1.74	1.98	2.48	1.50	1.80	1.95
Lu	0.20	0.31	0.25	0.29	0.25	0.22	0.25	0.34	0.20	0.23	0.25

TABELA 01 - Análises químicas, com respectivas normas, das amostras de metabasitos. Elementos maiores em %. Elementos traços em p.p.m.

tratam-se de metabasitos em facies metamórfica mais alta (anfibolitos).

A maioria das amostras analisadas se posicionam no campo das rochas sub-alcálinas (Fig. 03 - com exceção apenas da amostra M-96) e no diagrama AFM (Fig. 04) situam-se no campo dos toleitos. São quartzo-hipertênio normativas (quartzo-toleitos, seg. classificação de Yoder & Tilley 1962), com exceção de duas amostras (M-7 e M-96), ambas olivina-hiperstênio normativas (olivina-toleitos). A amostra M-96, que possui composição alcalina e tem olivina normativa, apresenta teores muito elevados de TiO_2 e FeO_t e baixos de SiO_2 . Esta amostra sofreu intensa deformação, atestada por sua textura milonítica, de maneira que suas características geoquímicas podem ter sido, em parte, modificadas. Seus teores nos outros elementos, entretanto, são compatíveis com o seu grau de evolução.

Os metabasitos apresentam valores de $mg\#$ ($100 \times Mg/Mg + Fe_t$ - razão atômica) entre 39 e 56, o que indica um forte fracionamento, se comparados aos valores de um magma basáltico primitivo (Green & Ringwood, 1967). Este forte fracionamento é típico para rochas basálticas continentais (ver discussão em Cox, 1980, entre outros).

Apesar de todos os problemas referentes ao uso de diagramas triangulares de conotação tectônica (levantados por Holm 1982, Meschede 1986, entre outros) foram lançados, tentativamente, os dados dos metabasitos nestes diagramas. Os resultados apresentam praticamente todas as amostras posicionadas no campo dos basaltos intra-placa (Fig. 05a e b).

As figuras 06a e b apresentam correlações de alguns elementos e óxidos com o $mg\#$. Observa-se correlações que são, no geral, positivas para os elementos compatíveis e negativas para os incompatíveis, ou seja, as amostras mais evoluídas ($mg\#$ mais baixo) são mais enriquecidas em elementos incompatíveis e empobrecidas em elementos compatíveis, sendo a relação inversa para as rochas menos evoluídas.

Os padrões de ETR são muito fracionados (Fig. 07), sendo que a curva apresenta maior inclinação entre os ETR intermediários (Nd e Eu), indicando um enriquecimento geral em ETR leves (principalmente La e Ce). As razões La/Yb variam de

FIGURA 03 - Posição dos metabasitos no diagrama TAS (McDonald & Katsuro, 1964).

FIGURA 04 - Posição dos metabasitos no diagrama AFM (Yoder & Tilley, 1962)

FIGURA 05 - a) Diagrama tectônico $Ti/100 \times Zr \times 3Y$ (Pearce & Cann, 1973), mostrando a posição dos metabasitos.
campos do diagrama: A - Toleítos de baixo-K; B - Toleítos de baixo-K e basaltos calcio-alcálinos; C - Basaltos calcio-alcálinos; D - Basaltos intra-placa.

b) Diagrama tectônico $Zr/Y \times Y$ (escala logarítmica) de Pearce & Norry (1979).
campos do diagrama: A - Basaltos intra-placa; B - basaltos de arco de ilha; C - MORB.

FIGURA 06a - Diagramas binários de correlação. Amostras de metabasitos. Elementos maiores x mg#.

FIGURA 06b - Diagramas binários de correlação. Amostras de metabasitos. Elementos traços x mg#.

FIGURA 07 - Padrões de ETR dos metabasitos. Valores do condrito de Nakamura (1974).

FIGURA 08 - Diagrama binário de correlação. Razão La/Yb x mg#. Amostras de metabasitos.

7,2 a 16,8 e, de maneira geral, observa-se um aumento desta razão nas rochas mais evoluídas (Fig. 08), com exceção das amostras M-7 e M-9 que, embora muito evoluídas, apresentam baixos valores de ETR leves.

9.3 - Discussão

Como foi verificado nos metabasitos estudados, apesar das importantes modificações mineralógicas devidas ao metamorfismo, as modificações nas suas características geoquímicas ígneas primárias não foram, aparentemente, muito expressivas, de maneira que as amostras podem ser interpretadas como pertencentes a uma mesma série de diferenciação basáltica de tipo toleítica continental. Estes dados não confirmam, portanto, os resultados de Biondi *et al.* (1978) que classificaram os metabasitos da região de Ipoema (porção SW da área de estudo) como pertencentes a uma série alcalina.

9.4 - Idade

Das observações de campo e mineralógico-petrográficas sabe-se que os metabasitos estudados são pós-sedimentares, já que cortam todo o pacote sedimentar; e pré-tectônicos em relação ao último evento tectôno-metamórfico regional.

As idades radiométricas em metabasitos intrusivos na Serra do Espinhaço Meridional e regiões adjacentes, fornecem idades K-Ar e Rb-Sr que variam do Proterozóico Inferior ao Proterozóico Superior (Brito Neves *et al.*, 1979 e Parenti Couto *et al.*, 1983). Machado *et al.* (1989b) obtiveram uma idade U-Pb (em frações de badeleita e zircão) de 906 m.a. para metabasitos porfiríticos da região do Serro, a leste de Diamantina.

10 - ROCHAS METAULTRAMÁFICAS

Foram encontrados apenas dois corpos pequenos de rochas metaultramáficas. O principal deles ocorre na porção E-SE da área e o outro na porção centro-norte, sendo que este último corpo apresenta-se intensamente intemperizado, como um saprólito de difícil caracterização petrográfica.

10.1 - Petrografia

As rochas metaultramáficas são compostas principalmente por talco + actinolita + carbonato + clorita, com subordinados minerais opacos (principalmente magnetita e cromita, mas também pirita e calcopirita). A textura é granoblástica e a rocha apresenta localmente um bandamento irregular com bandas constituídas principalmente por talco +- carbonato e outras por actinolita + carbonato + clorita. O carbonato (dolomita ou magnesita) se apresenta geralmente como cristais relativamente grandes (com até 6 mm de comprimento maior) e são quase sempre poiquilíticos, contendo inclusões de actinolita, talco, clorita e também de minerais opacos. A clorita ocorre na forma de placas pequenas, geralmente sem orientação preferencial, e apresenta pleocroísmo fraco (incolor a verde claro) e birrefringência cinza de 1ª ordem. Alguns cristais de actinolita e talco podem localmente apresentarem uma grosseira orientação (segundo seu comprimento maior), embora predominem grãos desorientados.

A magnetita é o mineral opaco predominante e ocorre dispersa na rocha, inclusa em carbonato ou, às vezes, como agregados de grãos agrupados em bandas paralelas e equidistantes. A cromita aparece como grãos isolados ou inclusos em magnetitas. A pirita pode formar cristais idiomórficos grandes (até 5 mm de comprimento maior) poiquilíticos, ou então cristais pequenos isolados na matriz ou inclusos em carbonato. A calcopirita ocorre também como cristais pequenos isolados ou inclusos em carbonato, muitas vezes intercrescida com a pirita.

Nenhum dos minerais encontra-se em equilíbrio com outro. São comuns cristais de clorita inclusos em talco ou actinolita,

bem como actinolita envolvendo cristais de talco. Nas inclusões dentro dos carbonatos observam-se também estas relações.

10.2 - Idade

A posição estratigráfica dos corpos de rochas metaultramáficas da área é desconhecida, porque ocorrem em zonas de cisalhamento, apresentando-se fortemente deformadas e metamorfisadas. Apresentam-se ainda, geralmente, muito intemperizadas.

Grossi Sad (1968) e Renger (1972) consideraram todas as rochas ultramáficas da borda leste da Serra do Espinhaço e região do Quadrilátero Ferrífero, como do tipo "alpino" (ofiolíticas). Schorscher *et al.* (1982) distinguiu rochas metaultramáficas relacionadas à evolução do "Greenstone Belt" Rio das Velhas (com ocorrência principal na região central do Quadrilátero Ferrífero) de corpos isolados metaultramáficos de tipo "alpino", tectonicamente embutidos durante o desenvolvimento da cadeia Espinhaço. A este segundo grupo acredita-se pertencerem as rochas metaultramáficas da região Itabira/Morro do Pilar.

11 - TECTÔNICA

Foram identificadas, na área de estudo, diversas estruturas de natureza tectônica, observáveis nas escalas mega, meso e microscópica. As principais megaestruturas estão representadas por zonas de cisalhamento dúcteis-rúpteis devidas a cavalgamentos de baixo a médio ângulo (entre 10° e 50° de mergulho), além de, localmente, zonas de alto ângulo com rejeitos direcionais (trancorrente). Somente foram representados no mapa (devido a escala deste trabalho) os principais cavalgamentos, que se desenvolveram preferencialmente nos contatos litoestratigráficos. Outra megaestrutura importante é um sinforme com direção de eixo E-W, mergulhando para E, que ocorre na porção leste da área.

As estruturas tectônicas observadas em escala meso e microscópica incluem: uma foliação (Sn) marcante em quase todas as rochas; uma proeminente e constante lineação de estiramento e/ou de orientação mineral (Ln); lineações de crenulação locais; dobras apertadas inclinadas a recumbentes, de médio porte a intrafoliais; estruturas do tipo "S/C milonítica" (seg. definição de Lister & Snoke, 1984); além de outras microestruturas observadas à escala do microscópio. Nos migmatitos estromáticos do NE da área observa-se uma foliação (Sn-1) que é cortada pela foliação Sn. As estruturas mais novas são fraturas e falhas normais e inversas que cortam todas as feições mais antigas.

As microestruturas foram observadas a partir de amostras orientadas no campo e posteriormente cortadas (e laminadas) em uma direção paralela a lineação mineral e perpendicular a foliação, ou seja, paralelamente ao plano XZ do elipsóide de deformação.

11.1 - Descrição das Estruturas

A foliação Sn possui direções e mergulhos variáveis, sendo aproximadamente NS com mergulhos para E nas porções NW, W e S da área e, nas partes centro-leste e extremidade NE, inflete

para a direção W-NW com mergulhos para N-NE. Esta foliação é definida principalmente pela orientação de micas nos metassedimentos e gnaisses, de hematita no itabirito e de micas, clorita e anfibólio nos metabasitos. Nas zonas de cisalhamento a foliação S_n é do tipo milonítica e assume um caráter anastomosante, sendo que muitas vezes podem ser observadas as estruturas do tipo S/C, com as duas superfícies "S" e "C" apresentando baixa relação angular entre si. O diagrama da Fig. 09a mostra a distribuição dos polos da foliação S_n nos metassedimentos, que apresenta um máximo em torno de N12W/20NE, com dispersão dos mergulhos para E-SE, NE e até para N-NW. Onde o acamamento das rochas metassedimentares pode ser identificado, observa-se um paralelismo com a foliação S_n .

A foliação S_{n-1} nos migmatitos do nordeste da área é paralela ao bandamento (leucossoma/melanossoma/mesosoma) e é definida também pela orientação de micas e, localmente, também de anfibólio. Possui direção sempre E-W e mergulhos variáveis para S e N. Localmente pode-se observar a foliação S_n cortando a foliação S_{n-1} e, só neste caso, é possível diferenciá-las com precisão.

A lineação (L_n) está definida principalmente pela orientação de minerais filossilicáticos, além de cristais de cianita, hematita e anfibólio, bem como pela orientação (estiramento) de seixos de metaconglomerados, estiramento de grãos de feldspato, alinhamento de sombras de pressão e de aglomerados de minerais máficos em gnaisses e migmatitos. Esta lineação é constante em todas as rochas deformadas e possui uma direção aproximadamente E-W e mergulho para E. Nos metassedimentos apresenta um máximo de S86E/19 com pequena dispersão (Fig. 09b).

Localmente observa-se uma lineação de crenulação, praticamente restrita aos xistos, cuja direção varia de NS a EW, às vezes, associada a uma clivagem de crenulação. Dobras apertadas inclinadas a recumbentes, de eixo subhorizontal NS, vergentes para W e com amplitude que pode chegar a 3 m., ocorrem localmente nas unidades metassedimentares do oeste da área (Fm. Sopa-Brumadinho e Unidade de Quartzitos Laminados e raramente na porção norte da Unidade de Quartzitos Bandados). Nas unidades

máximo > 40%
 intervalo 15%
 Sn - 94 medidas
 Ln - 56 medidas

FIGURA 09 - Guirlandas de distribuição de polos da foliação Sn (a) e da lineação Ln (b) para as unidades metassedimentares dos SGr⁺. Espinhaco e Minas. Rede de Schmidt-Lambert.

do leste (Unidade de Quartzitos Bandados, Unidade de Moscovita-Xistos e SGr. Minas) predominam dobras pequenas intrafoliaais de eixo predominantemente NS, mas também EW nas zonas de cisalhamento. Nos itabiritos são comuns dobras de eixo curvo ou do tipo "em bainha". Nos migmatitos foram também observadas dobras intrafoliaais que possuem eixos de direção muito variável.

Os marcadores cinemáticos foram estudados em amostras coletadas nas zonas de cisalhamento principais e orientadas segundo o plano XZ do elipsóide de deformação. Estes marcadores incluem: sombras de pressão assimétricas, porfiroclastos rotacionados, fraturas do tipo *pull apart* e a relação angular entre as superfícies "S" e "C". Todas estas estruturas foram analisadas segundo os critérios de Simpson e Schmid (1983) e indicam uma movimentação tectônica principal segundo a direção da lineação Ln, com sentido geral de E para W. Mesmo nas porções centro-leste e nordeste onde a foliação Sn possui direção NW e mergulho para NE, a direção do transporte ainda é paralela a lineação EW e o sentido é para W.

Foram observadas também fraturas e falhas normais e inversas, desenvolvidas em regime totalmente rúptil, que possuem direção principal N-S e cortam a foliação Sn e a lineação Ln. As falhas possuem geralmente rejeito de poucos centímetros e não têm expressão regional.

11.2 - Interpretação das Estruturas

A estruturação tectônica da área de estudo foi devida principalmente a extensos cavalgamentos de baixo a médio ângulo caracterizados como zonas de cisalhamento dúcteis-rúpteis. Estes cavalgamentos tem continuidade para norte e foram os responsáveis pela estruturação geral da Serra do Espinhaço Meridional (cf. Almeida Abreu *et al.* 1986 e Uhlein *et al.* 1986). A presença de rampas oblíquas a laterais e falhas com rejeito direcional (transcorrente) é atestada pelas atitudes da foliação Sn que varia muito em direção e mergulho, enquanto que a lineação Ln, impressa sobre a foliação Sn, mantém-se constante.

Este evento de deformação principal (Dn), afetou

praticamente todas as rochas da região, com exceção dos basaltos mesozóicos, e foi o responsável pelo empilhamento das unidades metassedimentares e por inversões estratigráficas, colocando rochas mais antigas (gnaisses e migmatitos) sobre os metassedimentos mais novos. O sentido geral do transporte tectônico foi, no geral, de E para W, paralelamente a lineação Ln.

A inflexão dos cavalgamentos na porção centro-leste da área, caracterizado como rampas oblíquas a laterais, pode ter sido gerada devido a presença de um corpo rígido (alto estrutural) na porção S-SE da área, representado pelo "Granitóide Borrachudos". A geração de movimentação do tipo transcorrente nesta porção da área, sugere também a presença deste corpo rígido. Portanto, o "Granitóide" Borrachudos constituiu uma unidade para-autóctone (já que seus contatos estão também milonitizados) que funcionou como anteparo aos cavalgamentos de Dn. Souza F^o *et al.* (1989) em estudo na Mina de Conceição (SW da cidade de Itabira) também encontraram evidências deste caráter rígido do "granitóide" e da sua importância na estruturação da deformação principal.

No extremo leste da porção central da área ocorre um sinclinal de direção aproximadamente E-W e mergulho para E, que pode ter-se formado durante a movimentação das rampas laterais que teriam comprimido as litologias desta porção da área contra o bloco de migmatitos imediatamente ao sul do sinclinal.

As lineações de crenulação tem abrangência local e não caracterizam um segundo evento deformativo. Localmente pode-se observar que elas se formaram por achatamento em torno de uma rocha mais rígida a deformação (p. ex. um veio de quartzo), ou então por superimposição localizada de microcisalhamentos.

As dobras métricas de eixo NS (com vergência para W) observadas nas unidades do oeste da área são pré-Sn já que são cortadas por esta última. Elas indicam também uma compressão com sentido para W e podem ser relacionadas a Dn, que teve características heterogêneas e progressivas. As dobras intrafoliais são tipicamente dobras sin-cisalhamento e o fato de possuírem eixos paralelos a lineação Ln dentro das zonas de cisalhamento, e perpendiculares fora das zonas, pode significar

uma rotação dos eixos com o aumento da deformação (segundo o modelo proposto por Berthé & Brun, 1980 e Mattauer & Mercier, 1980).

A foliação Sn-1 encontrada nos migmatitos do NE da área deve estar relacionada a um evento deformativo mais antigo (Dn-1), já que possui atitudes bem distintas de Sn, sendo cortada por esta última, além de estar relacionada à feições migmatíticas, de mais alto grau metamórfico. As características deste evento Dn-1, quanto a direção e sentido de movimentação tectônica não puderam ser identificados devido a má qualidade e escassez dos dados disponíveis nos afloramentos observados.

A presença de fraturas e falhas normais e inversas, que cortam indiscriminadamente todas as estruturas de Dn, sugere pelo menos uma fase posterior Dn+1, desenvolvida em regime totalmente rúptil. Estas falhas e fraturas foram observadas em afloramentos sem continuidade física regional e sem uma relação direta com fotolineamentos, o que não permitiu, desta forma, traçá-los no mapa geológico da área.

11.3 - Idade

Em um contexto maior, a área de estudo está incluída na denominada "Faixa de Dobramentos Araçuaí" (Almeida, 1977), considerada como de estruturação final no evento tectônico relativo ao Ciclo Brasileiro (cerca de 600 m.a.). Muitos autores tem defendido esta idade brasileira, baseando-se principalmente nas semelhanças estruturais e metamórficas entre as unidades do Supergrupo Espinhaço e aquelas do Grupo Bambuí, nas regiões em que se encontram em contato (Uhlein *et al.*, 1986, Hartmann, 1987, Marschak & Alkmin, 1989 e Uhlein, 1991). O Grupo Bambuí é uma sequência pelito-carbonatada, depositada no Proterozóico Superior, segundo as idades (bioestratigráficas) dos calcários estromatolíticos situados na base da sequência (Marchese, 1974).

Idades radiométricas Rb/Sr, K/Ar e U/Pb também tem indicado, na região, a presença de um evento de rehomogenização isotópica no final do Ciclo Brasileiro (Siga Jr., 1986, Machado *et al.*, 1989b, Parenti Couto *et al.* 1981, entre outros).

Alguns autores, entretanto, defendem que o principal

evento de deformação e metamorfismo regional, teria se desenvolvido no final do Ciclo Transamazônico (Pflug, 1965, Pflug & Renger, 1973, Schorscher, 1975, 1988 e 1991, Hergesell, 1985). A importância de um evento metamórfico de idade Transamazônica (por volta de 2.000 m.a.) tem sido documentada também, na região, através de datações radiométricas (Cordani *et al.*, 1980, Teixeira, 1985, Teixeira *et al.*, 1990).

12 - METAMORFISMO

As características do metamorfismo que atuou sobre as litologias Pré-Cambrianas da região entre Itabira e Morro do Pilar são indicadas principalmente pelas variações texturais e mineralógicas nos gnaisses, migmatitos, "Granitóide Borrachudos" e nos metabasitos. Os metassedimentos não apresentam minerais índices de metamorfismo, sendo que a paragênese típica observada com quartzo + sericita/moscovita +/- hematita +/- turmalina não caracteriza uma facies metamórfica específica, excluindo apenas a facies granulito. A presença de cianita em algumas zonas de cisalhamento, indica condições locais a partir da facies xisto verde superior, em regime de pressão intermediária (seg. Winkler, 1977).

O Complexo Gnáissico-Migmatítico apresenta evidências de pelo menos dois eventos metamórficos importantes. O primeiro deles foi o responsável pela gnaissificação e migmatização de rochas granitóides antigas (Arqueanas). O segundo evento provocou um intenso retrometamorfismo nos gnaisses do oeste da área, que diminui em intensidade nos migmatitos do leste. Este segundo evento pode ser caracterizado como de facies xisto-verde no oeste, já que provocou sericitização e saussuritização de plagioclásios cálcicos, substituição de biotita castanha-avermelhada por clorita, moscovita e mais raramente por biotita verde, além de alteração de ilmenita e titanomagnetita por leucoxênio. Progressivamente para oeste, já na área de predominância de migmatitos, observa-se um reequilíbrio/recristalização avançada dos plagioclásios, com pequena quantidade de minerais de saussuritização preservados no centro dos grãos. Os microclinios também apresentam recristalização poligonal parcial (em sombras de pressão de porfiroclastos) ou total, dependendo do grau de deformação da rocha. Segundo Tullis (1983) a recristalização de feldspatos só é possível em temperaturas acima de 500° C, ou seja, condições metamórficas transicionais facies xisto-verde/anfibolito. A biotita apresenta alteração para biotita verde + epidoto + titanita e, localmente, para moscovita + opacos. A substituição

de biotita castanha por clorita ocorre comumente no leucossoma dos migmatitos e mais raramente no mesossoma e no melanossoma, sendo que esta substituição parece ser pós-cinemática, mimética sobre a forma das biotitas, com preservação até de texturas sageníticas.

O "Granitóide Borrachudos" só mostra evidências do último metamorfismo progressivo regional (conforme descrito no item 7.1), com recristalização gradual das mesopertitas a medida que se avança de oeste para leste dentro do corpo. Saussuritização intensa de plagioclásio é observada somente nas porções oeste do corpo.

Nos corpos isolados de metaultramáficas a clorita parece ser o mineral mais antigo, que é substituído por talco e actinolita. Os carbonatos são tardios e englobam todos os minerais formados precocemente. A pirita pode englobar também todos os minerais, com exceção do carbonato, devendo ser, em parte, contemporânea com este último. A magnetita deve ter se formado, em parte, devido a da substituição de cromita, ou então a partir da reação: clorita = talco + magnetita. Alterações metassomáticas tipo *black wall* (Coleman, 1971 e Jahns, 1967) podem também ter sido importantes na formação de magnetita. Estas feições indicam que estas rochas sofreram processos múltiplos de metamorfismo, em condições de temperatura e pressão mais baixas que aquelas de geração dos migmatitos encaixantes. Renger (1972), Schorscher (1975), entre outros, já descreveram tais associações minerais de rochas metaultramáficas da borda leste da Serra do Espinhaço Meridional e explicaram-nas por processos superimpostos, tectônicos, hidrotermais-metassomáticos e de metamorfismo regional.

Os metabasitos também sofreram os efeitos apenas do último evento metamórfico, evidenciado pelos corpos com mineralogia e texturas ígneas preservadas no oeste da área, que passam progressivamente a anfibolitos no leste (conforme descrito no item 9.1). Os corpos de metabasitos do oeste da área apresentam uma associação mineral metamórfica constituída principalmente por tremolita/actinolita + clinozoisita + epidoto + albita + quartzo +/- biotita +/- clorita, que é típica para a facies xisto verde (seg. Turner, 1981 e Miyashiro, 1973). Na

parte central da área coexistem os anfibólitos actinolita com hornblenda tschermakítica, caracterizando uma zona de transição entre as facies xisto-verde e anfibolito. Os metabasitos do leste apresentam uma associação formada por hornblenda verde (tschermakita) + plagioclásio + biotita, característica para a facies anfibolito. A clorita é comum apenas nas rochas mais deformadas (milonitizadas) das porções central e oeste da área, onde se formou a partir da substituição da biotita. Nos metabasitos (anfibolitos) milonitizados da porção leste da área, não ocorre esta transformação de biotita por clorita, indicando o condicionamento do aparecimento de clorita aos limites da faixa de rochas metamorfisadas em facies xisto verde, ou seja, ao último evento metamórfico regional.

12.1 - Idade

O metamorfismo progressivo regional é coincidente com a deformação tectônica provocada pelos cavalgamentos, evidenciado pelo crescimento de minerais sin-tectonicamente, na foliação da rocha. Schorscher (1975 e 1988) admitiu que o pico do metamorfismo se deu após a deformação tectônica principal, caracterizando-se por isógrads metamórficas contínuas, que cortam as zonas de cisalhamento e dobras regionais.

A idade do principal evento metamórfico regional está ligada à idade do principal evento de deformação (ver item 11.3).

13 - BASALTO

Os basaltos tem ocorrência restrita na área, quanto ao número e tamanho dos corpos. Não apresentam sinais de deformação tectônica e metamorfismo, sendo encontrados na forma de diques intrusivos no Complexo Gnáissico-Migmatítico e "Granitóide" Borrachudos.

O melhor afloramento foi encontrado no ponto M-391 onde se observou dois diques verticais paralelos, de direção N35W. Um deles com cerca de 20 m de largura apresenta bordas de granulação muito fina contrastando com o centro de granulação mais grossa; o outro com 40 cm de largura (Foto 19) possui granulação muito fina. As outras ocorrências (pontos M-381 e M-346A) referem-se a muitos blocos em meio a um solo vermelho. No ponto M-346A ocorrem blocos de basalto junto a blocos de metabasito, o que indica que antigas fraturas de intrusão dos metabasitos Pré-Cambrianas foram reativadas durante a intrusão dos basaltos.

13.1 - Petrografia

Na maioria dos corpos predomina uma textura do tipo intergranular (Foto 21) com ofítica e subofítica subordinada. São formados essencialmente por plagioclásio (andesina a labradorita), augita e pigeonita, com menores quantidades de olivina e opacos (principalmente magnetita e ilmenita). Intercrescimentos micrográficos de feldspato e quartzo são comuns nas bordas dos grãos de plagioclásio e na matriz intersticial. Hornblenda, biotita e clorita podem aparecer em quantidade muito pequena e são produtos secundários de alteração deutérica.

No dique menor e na borda do dique maior (afloramento ponto M-391), observa-se uma matriz fina (mesóstase) com pequenos cristais de clinopiroxênio, plagioclásio e opacos (Foto 22), efeitos do resfriamento rápido.

FOTO 19 - Basalto. Dique intrusivo em migmatitos. - Afloramento M-391.

FOTO 20 - Basalto. Fotomicrografia do dique da foto 19. Ripas'ocas de plagioclásio em meio a uma matriz muito fina (mesóstase). - Amostra do afloramento M-391 - PC - Aumento de 200x.

FOTO 21 - Basalto com textura intergranular. - Porção central do dique maior do afloramento M-391. - PC - Aumento de 25x.

FOTO 22 - Basalto. Ripas de plagioclásio e cristais pequenos de clinopiroxênio em meio a uma matriz fina. - Borda do dique maior do afloramento M-391. - PC - Aumento de 25x.

13.1.1 - Características Mineralógicas

PLAGIOCLASIO : O plagioclásio, que varia em composição de labradorita a andesina, é o mineral dominante, constituindo cerca de 45% da rocha. Ocorre na forma de cristais idiomorfos a hipidiomorfos, em média com cerca de 2 mm de comprimento maior por 0,1 a 0,4 mm de largura. Muitos grãos apresentam-se zonados, com centros mais anortíticos. Nas rochas de granulação mais fina os cristais pequenos de plagioclásio ocorrem geralmente como ripas ocas, com núcleo preenchido por mesóstase (Foto 20).

PIROXENIOS : Constituem cerca de 30 a 35% da rocha e estão representados por augita, augita subcálcica e pigeonita, que se apresentam como cristais xenomórficos a hipidiomórficos entre os grãos de plagioclásio, às vezes envolvendo-os. São comuns também grãos de piroxênio com zoneamento setorial. Em média os grãos possuem cerca de 1mm de comprimento maior.

OLIVINA : Ocorre como cristais pequenos (entre 0,2 e 0,5 mm de diâmetro) geralmente subarredondados e quase sempre com alteração para minerais verde amarronzados a amarelados (clorofeita). Na amostra M-346A não foi encontrada olivina, embora aglomerados de clorofeita e clorita representem prováveis pseudomorfos.

OPACOS : Magnetita e ilmenita são os principais minerais opacos, seguido de hematita (geralmente como alteração de magnetita - martitização), além de raros cristais de pirita e calcopirita.

Magnetita ocorre como grãos idiomórficos a hipidiomórficos, localmente poiquilíticos, enquanto ilmenita aparece como cristais tabulares isolados ou associados com magnetita e localmente inclusos em piroxênios. Os sulfetos ocorrem como grãos pequenos xenomórficos, intersticiais.

FELDSPATO e QUARTZO : Como já foi dito ocorrem intercrescidos. Não foi possível identificar o tipo de

feldspato, podendo tratar-se de feldspato potássico ou albita. Nas rochas de afaníticas somente o quartzo ocorre localmente, sempre na forma de grãos isolados xenomórficos.

APATITA : ocorre como cristais pequenos na forma predominante de agulhas muito finas.

HORNBLEENDA : foi observada nas amostras M-381 e M-391B e ocorre em torno de alguns cristais de piroxênio. Apresenta pleocroísmo de verde claro a castanho.

BIOTITA E CLORITA : Só foram observadas, em pequena quantidade, na amostra M-346A. A biotita castanha aparece sempre associada com piroxênio. A clorita verde com birrefringência de cinza a amarelo claro, ocorre como aglomerados circulares.

13.2 - Geoquímica

A tabela 02 apresenta as análises químicas, com respectivas normas, das amostras de basaltos. Foram analisados 34 elementos (limites de detecção para cada elemento, no Anexo II) de um total de 5 amostras, sendo que duas delas pertencem a um dique, como centro (M-391B) e borda do mesmo (M-391C). Observa-se na tabela 02 que as diferenças geoquímicas entre a borda e o centro do dique são mínimas embora valores um pouco mais altos do *mg#*, de Cr, Ni e Co na borda, caracterize seu estado menos evoluído em relação ao centro do dique. Em geral, no entanto, todas as amostras apresentam valores de *mg#* muito baixos (entre 38 e 41) indicando um caráter muito evoluído para toda a série.

Todas as amostras são subalcalinas (Fig. 10), toleíticas (Fig. 11) e apresentam quartzo e hiperstênio normativos (quartzo-toleitos). Todos os basaltos são também muito ricos em TiO₂, K₂O, Rb, Sr, Zr e Ba. Os padrões de ETR (Fig. 12) são muito fracionados (com razões La/Yb variando de 13,30 a 19,70) e mostram um enriquecimento em ETR leves.

	M-346A	M-381	M-391b	M-391c	M-391d
SiO ₂	48.25	50.71	50.38	50.30	50.14
TiO ₂	3.86	3.51	3.50	3.55	3.50
Al ₂ O ₃	13.10	13.19	13.32	13.24	13.07
Fe ₂ O ₃	5.69	4.91	4.32	4.78	5.03
FeO	8.10	8.28	8.58	8.76	8.19
MnO	0.19	0.18	0.19	0.17	0.19
MgO	5.03	4.55	4.27	4.57	4.38
CaO	8.24	7.92	7.89	7.72	8.18
Na ₂ O	2.23	2.25	2.38	2.39	2.32
K ₂ O	1.61	1.89	1.91	1.78	1.49
P ₂ O ₅	0.64	0.52	0.54	0.53	0.53
LOI	1.68	1.21	1.35	1.21	1.77
TOTALS	98.62	99.12	98.63	99.00	98.79
Mg#	40.41	38.97	37.90	38.41	38.03
	NORMA		CIPW		
Q	7.27	8.88	7.97	7.9	9.41
Or	9.5	11.16	11.28	10.51	8.8
Ab	18.86	19.03	20.13	20.21	19.62
An	20.97	20.3	20.01	20.13	20.84
Di	12.61	12.64	12.73	11.97	13.19
Hy	10.62	10.88	11.17	12.14	9.97
Mt	8.26	7.13	6.27	6.94	7.31
Il	7.34	6.68	6.66	6.76	6.66
Ap	1.49	1.21	1.26	1.24	1.24
Cr	33	55	44	62	62
Ni	83	58	49	68	64
Co	44	43	39	52	44
V	405	390	383	396	404
Cu	96	141	147	141	145
Zn	116	123	125	143	135
Rb	44	48	50	44	122
Ba	497	567	558	533	570
Sr	626	551	562	517	782
Ga	25	24	25	26	24
Nb	24.0	29.0	29.0	30.0	30.0
Zr	239	278	288	284	282
Y	41	41	41	43	48
La	37.96	39.88	45.36	36.77	41.77
Ce	91.70	99.95	105.10	90.54	102.20
Nd	51.39	52.61	56.05	49.47	53.50
Sm	10.86	10.81	11.31	10.12	11.17
Eu	2.82	2.71	2.81	2.54	2.73
Gd	8.60	8.38	8.55	7.53	8.37
Dy	7.38	7.04	7.32	6.01	6.66
Er	3.63	3.23	3.29	2.73	2.92
Yb	2.85	2.55	2.51	1.94	2.12
Lu	0.38	0.33	0.31	0.25	0.27

TABELA 02 - Análises químicas, com respectivas normas, das amostras de basaltos. Elementos maiores em %. Elementos traços em p.p.m.

FIGURA 10 - Posição dos basaltos no diagrama TAS (McDonald & Katsuro, 1964).

FIGURA 11 - Posição dos basaltos no diagrama AFM (Yoder & Tilley, 1962).

FIGURA 12 - Padrões de ETR dos basaltos. Valores do condrito de Nakamura (1974).

FIGURA 13 - a) Diagrama tectônico $FeO_x \times MgO \times Al_2O_3$ (Pearce et al. 1977), mostrando a posição dos basaltos.
campos do diagrama: 1 - Ilha de centro de expansão; 2 - Orogênico; 3 - MORB; 4 - Ilha oceânica; 5 - Continental.

b) Diagrama tectônico $Ti/100 \times Zr \times 3Y$ (Pearce & Cann, 1973), mostrando a posição dos basaltos.
campos do diagrama: A - Toleitos de baixo-K; B - Toleitos de baixo-K e basaltos calcio-alcálinos; C - Basaltos calcio-alcálinos; D - Basaltos intra-placa.

A amostra M-391D proveniente do dique menor (Foto 19) apresenta teores comparativamente muito elevados de Rb e Sr, sem no entanto mostrar grandes diferenças nos outros elementos. Desconsiderando possíveis erros analíticos, os altos teores de Rb e Sr devem corresponder a contaminação do dique pelas encaixantes, no caso migmatitos estromáticos graníticos.

Nos diagramas tectônicos os basaltos se posicionam no campo dos toleitos continentais (Fig^{as}. 13a e b).

13.3 - Comparação Basaltos x Metabasitos

Em comparação com os metabasitos, os basaltos apresentam teores mais altos de FeO, SiO₂, K₂O, P₂O₅, Zr, Ba, Y, Rb, Sr, Nb e ETR, e mais baixos de MgO, CaO, Cr, Ni e Co, denotando um caráter mais evoluído para a série de basaltos em relação aos metabasitos.

Se compararmos os perfis dos padrões de elementos incompatíveis (Fig. 14), observam-se semelhanças muito grandes, com ambas apresentando anomalias negativas de Sr, Zr e Y, e positivas de La, Ce e Nd. Diferenciam-se, no entanto, com relação ao teor geral em elementos incompatíveis (bem mais alto nos basaltos), pela anomalia negativa de K nos metabasitos, que não é observada nos basaltos, e pela anomalia negativa de Nb nos basaltos e que não aparece nos metabasitos. Os padrões de ETR apresentam também perfis muito parecidos (Fig. 15), observando, entretanto, um enriquecimento maior nas ETR leves nos basaltos.

O diagrama La x Ce (Fig. 16) mostra que tanto os basaltos como os metabasitos possuem correlações lineares alinhadas e passando pela origem do gráfico. Ambos elementos (La e Ce) são altamente incompatíveis (sendo pouco afetados por processos de cristalização fracionada) e têm comportamento geoquímico semelhante, por exemplo quando sujeitos a processos metamórficos. Desta forma, a razão La/Ce pode ser utilizada como indicativa de feições primárias da fonte mantélica (cf. Joron & Treuil, 1977). Esta semelhança no valor da razão La/Ce em basaltos e metabasitos deve indicar, pode conseqüente, fontes mantélicas semelhantes.

FIGURA 14 - Spidergrams dos basaltos (Δ - média de 4 amostras) e metabasitos (O - média de 7 amostras). Valores do manto superior de Wood et al. (1979).

FIGURA 15 - Padrões de ETR dos basaltos (Δ - média de 5 amostras) e metabasitos (O - média de 11 amostras). Valores do condrito de Nakamura (1974).

FIGURA 16 - Diagrama La x Ce para basaltos (△) e metabasitos (○)

As diferenças geoquímicas entre basaltos e metabasitos podem ser explicadas por diferentes graus de fusão parcial em líquidos extraídos de uma fonte mantélica homogênea, ou então, por enriquecimento progressivo da fonte em elementos incompatíveis (cf. Condie, 1985), durante os períodos de tempo geológico entre a colocação dos metabasitos proterozóicos e dos basaltos mesozóicos.

14 - CONCLUSOES

I - Foram reconhecidos na região estudada diversos conjuntos litológicos, agrupados separadamente sob a designação de:

- Complexo Gnáissico-Migmatítico
- "Granitóide Borrachudos"
- Metassedimentos
- Metabasitos
- Rochas Metaultramáficas
- Basaltos

II - O Complexo Gnáissico-Migmatítico foi dividido em dois domínios denominados informalmente de Domínio I, constituído por gnaisses, e Domínio II, composto de migmatitos.

As litologias deste Complexo apresentam evidências de terem sofrido dois eventos metamórfico/deformacionais, sendo o primeiro deles responsável pela gnaissificação e migmatização de granitóides mais antigos; e o segundo com efeitos retrometamórficos.

Uma idade arqueana para os gnaisses e migmatitos é indicada indiretamente, porque estes constituem o embasamento para sequências metassedimentares do Proterozóico Inferior.

III - O "Granitóide Borrachudos" constitui-se em uma unidade mais nova que o Complexo Gnáissico-Migmatítico, embora uma idade arqueana também deva ser aceita para a sua geração. Este sofreu apenas os efeitos do último evento tectono-metamórfico regional, constituindo-se em um alto estrutural (de natureza para-autóctone) durante a deformação deste último evento. A sua origem é ainda controversa, tendo-se neste trabalho confirmado a importância dos fluidos na sua formação.

IV - Os metassedimentos foram correlacionados aos SGr^o Espinhaço e Minas. O ambiente deposicional das unidades pertencentes ao SGr. Espinhaço foi caracterizado pela progradação da facies de granulação grossa, conglomeráticas,

sobre facies mais finas, pelíticas. As unidades do SGr. Minas, predominantemente compostas de sedimentos originariamente depositados como precipitados químicos, poderiam representar as porções mais distais dentro da bacia. Os SGr^s Espinhaço e Minas são, desta forma, considerados como equivalentes laterais de facies penecontemporâneas, com uma idade provável de sedimentação no Proterozóico Inferior.

V - Os metabasitos cortam o Complexo Gnáissico-Migmatítico, o "Granitóide Borrachudos" e todas as sequências metassedimentares. Sofreram entretanto os efeitos do último evento tectôno-metamórfico regional, de maneira que apresentam-se progressivamente metamorfisados, desde facies xisto verde (na porção oeste da área) até facies anfibolito (no leste).

Tratam-se de toleitos continentais, cujas feições geoquímicas não foram muito modificadas pelos efeitos metamórficos e deformativos a que estiveram sujeitos.

VI - Os corpos de metaultramáficas tem posição estratigráfica incerta, embora admite-se uma colocação tectônica durante os movimentos compressivos do último evento tectôno-metamórfico regional, ou seja como corpos do tipo "alpino".

VII - A estruturação tectônica da área de estudo é caracterizada por extensos cavalgamentos de baixo a médio ângulo, caracterizados como zonas de cisalhamento dúcteis-rúpteis, que se desenvolveram principalmente nos contatos entre as unidades litoestruturais/estratigráficas. A inflexão dos metassedimentos, de NS para EW, na porção central da área tem origem em rampas oblíquas e laterais que se desenvolveram devido a um alto estrutural representado pelo "Granitóide" Borrachudos, na porção sudeste da área.

De uma maneira geral o sentido do transporte tectônico foi de leste para oeste, ou seja, em direção ao Craton do São Francisco.

Um evento deformativo mais antigo foi observado nas rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico.

Eventos mais novos, desenvolvidos em regimes totalmente rúpteis, referem-se a falhas normais e inversas, que cortam todas as estruturas anteriores.

VIII - O metamorfismo regional mais importante afetou todas as litologias Pré-Cambrianas e teve características progressivas de facies xisto verde a anfibolito, de oeste para leste, respectivamente, na área estudada.

IX - Os basaltos são as rochas mais recentes da região e têm idade mesozóica. São também toleitos continentais e, comparativamente com metabasitos, possuem teores mais altos em elementos incompatíveis, embora admite-se uma fonte mantélica com características semelhantes.

X - Evolução Geológica - Os dados obtidos durante o trabalho permitem montar o quadro evolutivo para os conjuntos litológicos que compõem a região entre as cidades de Itabira e Morro do Pilar:

1 - Retrabalhamento de granitóides arqueanos antigos com gnaissificação e migmatização generalizada e geração, no fim do arqueano, de rochas do tipo "Granitóide Borrachudos";

2 - Deposição, no Pré-Cambriano Inferior, das sequências metassedimentares dos SGr. Minas e de pelo menos das partes basais do SGr. Espinhaço;

3 - Intrusão de rochas básicas toleíticas continentais (tardi a pós sedimentares em relação ao SGr^{es} Espinhaço e Minas);

4 - deformação e metamorfismo, em um evento compressivo regional, afetando todo o conjunto litológico;

5 - intrusão, no Mesozóico, de basaltos toleíticos continentais.

15 - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALKMIN, F.F.; CHEMALE Jr., F.; BACELLAR, L.A.P.; OLIVEIRA, J.R.P. & MAGALHÃES - 1989 - Arcabouço Estrutural da Porção Sul do Craton do São Francisco. In: Simp.Geol.MG, 5, Belo Horizonte, SBG, Bol. v. 10, 289-293.
- ALMEIDA, F.F.M. - 1977 - O Cráton do São Francisco. Rev.Bras.Geoc., 7 (4): 349-362.
- ALMEIDA ABREU, P.A. - 1989 - Geologia das Quadrículas Onça e Cuiabá (Gouveia-MG) - Região Mediana central da Serra do Espinhaço Meridional. Dissert. de Mestrado, UFRJ, 75 p. (inédita).
- ALMEIDA ABREU, P.A.; FERNANDES, P.C.O.; KNAUER, L.G.; HARTMANN, M.B.; DONATO, M.T.R. & SCHORSCHER, H.D. - 1986 - Elementos da Zona de Cisalhamento Dúctil da Borda Oriental da Serra do Espinhaço, Minas Gerais. In: Congr.Bras.Geol., 34, Goiânia, v. 3 : 1215-1231.
- ALMEIDA ABREU, P.A.; FOGAÇA, A.C.C.; KNAUER, L.G.; HARTMANN, M.B. & PFLUG, R. - 1987 - Revisão da Estratigrafia e Sedimentologia da Formação Sopa Brumadinho na Serra do Espinhaço Meridional - MG. In: Simp.Sist.Dep. do Pré-Cb, 1, Ouro Preto, SBG, Bol. 6, 69-83.
- ALMEIDA ABREU, P.A.; KNAUER, L.G.; HARTMANN, M.B.; VIEIRA DOS SANTOS, G.G.; GUIMARAES, M.L.V.; ABREU, F.R.; SCHRANK, A. & PFLUG, R. - 1989 - Estratigrafia, Faciologia e Tectônica do Supergrupo Espinhaço na Região de Serro-Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais, Brasil. Zbl.Geol.Palaont. 5/6 : 857-873.
- ASHWORTH, J.R. (Ed.) - 1985 - Migmatites. Chapman & Hall, N.Y., 302 p.
- ASSIS, L.C. - 1982 - Estratigrafia, tectônica e Potencialidade Mineral das Unidades Precambrianas da Região do Serro. Brasília, UnB, Diss. de Mestrado, 149 p. (inédita).
- BABINSKI, M.; CHEMALE Jr, F. & SCHMUS, W.R - 1991 - Geocronologia Pb/Pb em rochas carbonáticas do Supergrupo Minas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: Congr.Bras.Geoq., 1, São Paulo, vol. 2, 628-631.
- BARBOSA, A.L.M. - 1968 - Contribuições Recentes à Geologia do Quadrilátero Ferrífero. Conferência proferida no Núcleo de Minas Gerais da SBG, 1968, UFMG, 44 p. (inédita).

- BARBOSA, M.P. - 1988 - Estudo do Relacionamento Genético das Feições Geológicas na Região do Espinhaço Meridional e Adjacências (MG). São Paulo, USP, Tese de Doutorado, 237 p. (inédita).
- BARBOSA, O. - 1954 - Evolution du Géosynclinal Espinhaço. Congr. Inter. Geol., 19, sec. XIII, fasc. XIV, 17-36, Alger.
- BEACH, A. - 1980 - Retrogressive Metamorphic Processes in Shear Zones with Special Reference to the Lewisian Complex. Jour. Struct. Geol., 2: 257-263.
- BERTHE, D. & BRUN, J.P. - 1980 - Evolution of Folds during Progressive Shear in the South Armorican Shear Zone, France. Jour. Struct. Geol., 2: 127-133.
- BIONDI, J.C.; SCHRANK, A. & PINHEIRO, J.C.F. - 1978 - Basitos e Ultrabasitos do Espinhaço Meridional e Região Sul de Minas Gerais. In: Congr. Bras. Geol., 30, Recife, SBG, v. 3, p. 1213-1220.
- BORBA, J.C. & CAMPOS, S. - 1986 - Geologia da Porção Sul da Serra da Serpentina, MG. Trabalho de Graduação, Diamantina, UFMG, Centro de Geologia Eschwege, 72 p. (inédito).
- BRITO NEVES, B.B.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. & DELHAL, J. - 1979 - A Evolução Geocronológica da Cordilheira do Espinhaço: Dados Novos e Integração. Rev. Bras. Geoc., 9 (1): 71-85.
- CHAPADEIRO, E.; SOARES, E.L.; MAGALHAES, J.M.M.; PEREIRA, M.A.B.; ROQUE, N.C. & PEREIRA, S.L.M. - 1987 - Geologia da região de Morro do Pilar - MG. In: Simp. Geol. MG, 4, Belo Horizonte, SBG, bol. 7, 88-103.
- CHEMALE Jr., F. - 1986 - Estratigrafia e Geologia Estrutural do Distrito Ferrífero de Itabira, Minas Gerais. In: Congr. Bras. Geol., 33, Anais, SBG, Rio de Janeiro, v. 2, 987-998.
- CHEMALE Jr. F. - 1987a - Tektonische, lagerstättenkundliche und petrographische Untersuchungen im Eisenerzrevier Itabira, Minas Gerais, Brasilien. Tese de Doutorado. Inst. Geol. Paläont., T.U. Clausthal, Alemanha, 140 p. (inédita).
- CHEMALE JR., F. - 1987b - Gênese das Rochas Graníticas do Tipo Borrachudo. In: Congr. Bras. Geoquímica, Porto Alegre, v. 1, p. 171-186.
- CHEMALE Jr., F. & QUADE, H. - 1986 - Estratigrafia e Geologia Estrutural do Distrito Ferrífero de Itabira, Minas Gerais. In: Congr. Bras. Geol., 34, Goiânia, v. 2 : 987-998.

- COLEMAN, R.G. - 1971 - Petrologic and Geophysical Nature of Serpentinities. Geol. Soc. Am. Bull., Vol. 82, 897-918.
- CONDIE, K.C. - 1985 - Secular variation in the Composition of Basalts: an Index to Mantle Evolution. Jour. of Petrol., vol. 26, 545-563.
- CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; MULLER, G.; QUADE, H.; REIMER, V. & ROESER, H. - 1980 - Interpretação Tectônica e Petrológica de Dados Geocronológicos do Embasamento do Bordo Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. An. Acad. Bras.Cienc., 52 (4): 785-799.
- COX, K.G. - 1980 - A Model for Flood Basalt Vulcanism. Journ. Petrol., 21: 629-650.
- DERBY, O.A. - 1906 - The Serra do Espinhaço, Brazil. J. Geol., 14: 374-401.
- DORR, J.V.N.II & BARBOSA, A.L.M. - 1963 - Geology and Ore Deposits of the Itabira District, Minas Gerais, Brazil. USGS, Prof. Paper, 341-C: 110 p.
- DORR, J.V.N.II - 1969 - Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS, Prof.Paper, 641-A: 110 p.
- DORR, J.V.N.II; GAIR, J.E.; POMERENE, J.B. & RYNEARSON, G.A. - 1957 - Revisão da Estratigrafia Precambriana do Quadrilátero Ferrífero. DNPM/DFPM, Avulso 81, 31 p.
- DOSSIN, I.A.; UHLEIN, A. & DOSSIN, T.M. - 1984 - Geologia da Faixa Móvel Espinhaço em sua Porção Meridional, MG. In: Congr.Bras.Geol., 33, Rio de Janeiro, SBG, v. 2, 3118-3132.
- DOSSIN, I.A.; DOSSIN, T.M. & CHAVES, M.L.S.C. - 1990 - Compartimentação Estratigráfica do Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais - Os Grupos Diamantina e Conselheiro Mata. Rev.Bras.Geoc., 20 (1-4): 178-186.
- DOSSIN, T.M. - 1985 - Geologia e Geoquímica das Formações Ferríferas da Serra da Serpentina, conceição do Mato Dentro, MG. Dissert. de Mestrado, UnB, 148 p. (inérita).
- FOGAÇA, A.C.C.; ALMEIDA ABREU, P.A. & SCHORSCHER, H.D. - 1984 - Estratigrafia da Sequência Supracrustal na Porção Mediana da Serra do Espinhaço Meridional, MG. In: Congr.Bras.Geol, 33, Rio de Janeiro, 1984, SBG, v.6, 2654-2667.
- FONTES, C.D.; NETTO, C.; COSTA, M.; BALTAZAR, O.F.; SILVA, S. & VIEIRA, V.S. - 1978 - Projeto Jequitinhonha. Relatório Final, 2 volumes, CPRM, Belo Horizonte

- GREEN, D.H. & RINGWOOD, A.E. - 1967 - The Genesis of Basaltic Magmas. *Contrib. Min. Petrol.*, 69: 33-47.
- GROSSI SAD, J.H. - 1968 - Os Cinturões Serpentinicos do Brasil Oriental. In: VI Semana de Estudos, 1965, Ouro Preto, 140-153.
- GUIMARAES, D. - 1933 - Os anfibolitos da Região Diamantífera do norte de Minas Geraes. *An. Acad. Bras. Cienc.*, 5(4): 237-258.
- GUIMARAES, M.L.V. & SANTOS, G.G.V. - Geologia da Porção Meridional da Quadricula de Mato Grosso - MG. *Trab.de Graduação, Centro de Geologia Eschwege-UFMG*, 85 p. (inédito).
- HALLS, H.C. & FAHRIG, W.F. (Ed.) - 1988 - Mafic Dyke Swarms. *Geol. Assoc. of Canada. Special Paper*, 34, 150 p.
- HARTMANN, M.B. - 1987 - A Cordilheira do Espinhaço Meridional (MG): Registro de uma Tectônica de Colisão Continental no final do Proterozóico. In: *Simp.Nac.Est.Tec.*, 1, Salvador, SBG, 71-73.
- HARDER, E.C. & CHAMBERLIN, R.T. - 1915 - The Geology of Central Minas Gerais. *J. Geol.* 13: 341-378 e 385-424.
- HERRGESELL, G. - 1985 - Uma Margem Continental Proterozóica na Serra do Cipó Setentrional (Serra do Espinhaço Meridional). In: *Simp.Geol.MG*, 3, Belo Horizonte, SBG, Bol. 5, 1-15.
- HERZ, N. - 1970 - Gneissic and Igneous Rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *USGS, Prof.Paper*, 641-A, 58 p.
- HERZ, N. & DUTRA, C.V. - 1958 - Preliminary Spectrochemical and Age Determination Results on some Granitic Rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *SBG, Bol. v.7*, 81-95.
- HOLM, P.E. - 1982 - Non-Recognition of Continental Tholeiites Using the Ti-Y-Zr Diagram. *Contrib. Min. Petrol.*, 73: 308-310.
- HOPPE, A. - 1984 - Geodynamic Evolution of the Serra do Espinhaço (Proterozoic Eastern Brazil). *Congr.Intern. Geol.*, 27, Moscou, Resumos, v.2, p. 310.
- HOPPE, A.; HORMANN, P.K. & EULERT, M.H. - 1983 - Padrões de Terras Raras de Rochas Básicas Proterozóicas da Serra do Espinhaço, MG. In: *Simp.Geol.MG*, 2, Belo Horizonte, bol. 3 : 143-148.

- IRVINE, T.N. & BARAGAR, R.A. - 1971 - Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. *Can. Jour. Earth Sci.*, 8: 523-545.
- JAHNS, R.H. - 1967 - Serpentinities of the Roxbury District, Vermont. In: *Ultramafic and Related Rocks* (Wyllie, P. J. - Ed.), Wiley & Sons, N.Y., 137-160.
- JORON, J.L. & TREUIL, M. - 1977 - Utilisation des Propriétés des Éléments Fortement Hygromagmatophiles pour L'Étude de la Composition Chimique et de L'Heterorogénéité du Manteau. *Bull. Soc. Geol. France*, 19: 1197-1205.
- JOHANNES N. & GUPTA, L.N. - 1982 - Origin and Evolution of a Migmatite. *Cont. Mineral. Petrol.*, 79: 114-123.
- KNAUER, L.G. - 1990 - Evolução Geológica do Pré-Cambriano da Porção Centro-Leste da Serra do Espinhaço Meridional e Metalogênese Associada. Dissertação de Mestrado, Unicamp, 184 p. (inédito)
- KEHRER, P. - 1972 - Zur Geologie der Itabirite in der südlichen Serra do Espinhaço (Minas Gerais, Brasilien). *Geol. Rdschau.*, 61: 216-249.
- KNEIDL, V. & SCHORSCHER, H.D. - 1972 - Faziesübergänge der Minas-Serie im Raum zwischen Itabira und Altamira (Minas Gerais, Brasilien). *N.Jb.Geol.Paläont. Mh.*, 224-235.
- KUNO, H. - 1968 - Differentiation of Basalt Magmas. In: *Basalts*, Vol. 2. Hess & Poldervaart (Edit.), p. 623-688. John Wiley & Sons, New York.
- LADEIRA, E.A. - 1980 - Metallogeneses of Gold at the Morro Velho Mine and in the Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Tese de Doutorado, University of Western Ontario, 272 p. (inédita).
- LISTER, G.S. & SNOKE, A.W. - 1984 - S-C Mylonites. *Journ.Struct. Geol.*, v. 6, nº 6, 617-638.
- MACDONALD, G.A. & KATSURO, T. - 1964 - Chemical Composition of Hawaiian Lavas. *Journ Petrol.*, 5:82-133.
- MACHADO, N.; NOCE, C.M.; OLIVEIRA, O.A.B. & LADEIRA, E.A. - 1989a - Evolução Geológica do Quadrilátero Ferrífero no Arqueano e Proterozóico Inferior, com base na Geocronologia U-Pb. In: *Simp.Geol.MG/Simp.Geol.Brasília*, 5/1, Belo Horizonte, Bol. v. 10, 1-5.
- MACHADO, N.; SCHRANK, A.; ABREU, F.R.; KNAUER, L.G. & ALMEIDA ABREU, P.A. - 1989b - Resultados Preliminares da Geocronologia U-Pb na Serra do Espinhaço Meridional. In: *Simp.Geol.MG/Simp.Geol.Brasília*, 5/1, Belo Horizonte, SBG, Bol. v.10, 171-174.

- MALAVIELLE, J.; LACASSIN, R. & MATTAUER, M. - 1984 - Signification Tectonique des Linéations D'allongement dans les Alpes Occidentales. Bull. Soc. Géol. France, n° 5, 895-906.
- MARCHESE, H.C. - 1974 - Estromatolitos "Gymnosolenidos" en el lado oriental de Minas Gerais, Brasil. Rev.Bras.Geoc., v.4 (4) : 257-272.
- MARSCHAK, S. & ALKMIN, F.F. - 1989 - Proterozoic Contraction Extension Tectonics of the Southern São Francisco Region, Minas Gerais, Brazil. Tectonics, 8(3), 55-571.
- MATTAUER, M. & MERCIER, J.L. - 1980 - Microtectonique et grand Tectonique. Mém.H.Sér.Soc.Géol. France, 10, 141-161.
- MEHNERT, K.R. - 1968 - Migmatites and the Origin of Granitic Rocks. Elsevier, Amsterdam, 393 p.
- MESCHEDÉ, M. - 1986 - A Method of Discriminating Between Different Types of Mid-Ocean Ridge Basalts and Continental Tholeiites with the Nb-Zr-Y Diagram. Chem Geol., 56: 207-218.
- MIYASHIRO, - 1973 - Metamorphism and Metamorphic Belts. Allen & Unwin, 491 p.
- MORAES, L.J. & GUIMARAES, D. - 1930 - Geologia da Região Diamantífera do Norte de Minas. An. Acad. Bras. Cienc., 2: 153-186.
- MULLER, G.; HOHNDORF, A.; LAUENSTEIN, H.J. & LENZ, H. - 1986 Petrological and Geochemical Data on a High-Metamorphic Archean BIF-bearing Rock Sequence near Guanhães, Minas Gerais, Brazil. Geol.Jb, 3-20.
- NAKAMURA, N. - 1974 - Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na e K in Carbonaceuos and Ordinary Chondrites. Geoc. Cosmoc. Acta, 38 : 753-773.
- PARENTI COUTO, J.G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; IYER, S.S. & MORAES, N.M. - 1981 - Considerações sobre a Idade do grupo Bambuí, com base em análises Isotópicas de Sr e Pb. Rev.Bras.Geoc., 12 : 78-88.
- PARENTI COUTO, J.G.; TEIXEIRA, W. & CORDANI, U.G. - 1983 - Considerações sobre as Principais Epocas de Fraturamento do Cráton do São Francisco, com Base em Datações K-Ar em Rochas Básicas. In: Simp.Geol.MG, 2, SBG, Bol.v. 3, 38-49.
- PEARCE, J.A. & CANN, J.R. - 1973 - Tectonic Setting of Basic Volcanic Rocks Determined Using Trace Element Analyses. E. and Plan. Sci. Lett., 19: 290-300.
- PEARCE, J.A.; GORMAN, B.E. & BIRKETT, T.C. - 1977 - The Relationship Between Major Element Chemistry and Tectonic

- Environment of Basic and Intermediate Volcanic Rocks. E. and Plan. Sci. Lett., 36 : 121-132.
- PEARCE, J.A. & NORRY, M.J. - 1979 - Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y and Nb Variations in Volcanic Rocks. Contrib. Min. Petrol., 69: 33-47.
- PECHER, A. - 1989 - The Metamorphism in the Central Himalaya. Jour. Metam. Geol., 7: 31-41.
- PFLUG, R. - 1965 - A Geologia da Parte Meridional da Serra do Espinhaço e Zonas Adjacentes, Minas Gerais. DNPM/DGM, Bol. 226, 51 p.
- PFLUG, R. - 1968 - Observações sobre a Estratigrafia da Série Minas na Região de Diamantina. DNPM/DGM, Not.prel. 20p.
- PFLUG, R. & CARVALHO, T. - 1964 - A Evolução Estrutural da Região de Gouveia, Serra do Espinhaço, Minas Gerais. DNPM/DGM. Bol. 213, 37 p.
- PFLUG, R. & RENGGER, F. - 1973 - Estratigrafia e Evolução Geológica da Margem SE do Craton Sanfranciscano. In: Cong. Bras. Geol., 27, Aracaju, 2: 5-19.
- PFLUG, R.; HOPPE, A. & BRICHTA, A. - 1980 - Paleogeografia do Pré-Cambriano na Serra do Espinhaço, MG, Brasil. In: Nuevos Resultados de la Investigación Geocientífica Alemania en Latino-América, Turbingen, 1980, 33-43.
- PIRES, F.R.M.; PALERMO, N. & SARCIA, M.N.G. - 1984 - Análise da Deformação e Revisão Lito-Estratigráfica do Supergrupo Minas no Sinclinal Dom Bosco, Quadrilátero Ferrífero, MG. Congr.Bras.Geol., 33, Rio de Janeiro, Anais SBG, 3151-3165.
- RENGER, F. - 1972 - As Rochas Ultrabásicas da Serra do Espinhaço, Minas Gerais. Rev.Bras.Geoc., 151-160.
- RENGER, F. - 1979 - Evolução dos Conceitos Geológicos da Serra do Espinhaço. In: Simp.Geol.MG, 1, Diamantina, SBG, Bol. v. 1, 9-27.
- SCHEUCH, R. - 1976 - Geochemische, biochemische und sediment-petrographische Untersuchungen an Itabiriten und deren faziellen Aquivalenten in der südlichen Espinhaço-Zone (Brasilien). Tese de Doutorado, Univ. de Freiburg, 63 p. (inédita).
- SCHOBENHAUS Fº, C. - 1978 - Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Folha Belo Horizonte. DNPM/DGM, Brasília.

- SCHOLL, W.U. & FOGAÇA, A.C.C. - 1979 - Estratigrafia da Serra do Espinhaço na Região de Diamantina, MG. In: Simp. Geol. MG, 1, Diamantina, Bol.v. 1, 55-73.
- SCHORSCHER, H.D. - 1975 - Entwicklung des polymetamorphen präkambrischen Raumes Itabira, Minas Gerais, Brasilien. Tese de Doutorado, Univ. de Heidelberg, 304 p. (inédita).
- SCHORSCHER, H.D. - 1978a - Evolução Geotectônica da Parte Meridional do Geossinclinal Espinhaço, Minas Gerais, Brasil. In: Congr.Bras.Geol., 30, Recife, SBG, Resumos, p. 48.
- SCHORSCHER, H.D. - 1978b - Komatiitos na Estrutura "Greenstone Belt" Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: Congr. Bras. Geol., 30, Recife, SBG, Resumos, 292-293.
- SCHORSCHER, H.D. - 1979 - Evolução Arqueana e Proterozóica do Quadrilátero Ferrífero e de Partes Meridionais da Serra do Espinhaço. In: Simp.sobre a Geol. do Craton do São Francisco e suas Faixas Marginais, 1, Salvador, Resumos.
- SCHORSCHER, H.D. - 1980a - Geotectonic Evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. In: Congr. Intern.Geol. 26, Paris, Abstracts, 2: 613.
- SCHORSCHER, H.D. - 1980b - Contribuição à Estratigrafia Proterozóica do Quadrilátero Ferrífero. An.Acad.Bras. Cien., 52(1), 195.
- SCHORSCHER, H.D. - 1988 - NE Quadrilátero Ferrífero and Adjacent Areas. In: Intern. Conference Geochemical Evolution of the Continental Crust, Poços de Caldas, Guia de Excursão, 96 p.
- SCHORSCHER, H.D. - 1991 - Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional. In: Congr.de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, 1, São Paulo, Guia de Escursões, 37-87.
- SCHORSCHER, H.D. & MULLER, G. - 1977 - Granitisation tiefkrustaler Mylonite durch metasomatische Feldspatisierung im Präkambrium E-Brasiliens. Fortschr. Miner., 55, Beih. 1: 123-124.
- SCHORSCHER, H.D. & LETERRIER, J. - 1980 - Metasomatic Formation of Granitic Rocks: Petrology and Geochemistry. In: Congr.Intern.Geol., 26, Paris, Abstracts, 2: 613.
- SCHORSCHER, H.D.; SANTANA, F.C.; POLONIA, J.C. & MOREIRA, J.M.P. - 1982 - Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais State: Rio das Velhas Greenstone Belt and Proterozoic Rocks. In: Simp. Intern. "Archaean an Early Proterozoic

- Geologic Evolution and Metallogensis" - ISAP, SME-BA, Guia de Excursões, 46 p.
- SIBSON, R.H. - 1977 - Fault Rocks and Fault Mechanisms. Jour. Geol. Soc. Lond., 123: 191-213.
- SIGA Jr. - 1986 - A Evolução Geotectônica da Porção Nordeste de Minas Gerais, com Base em Interpretações Geocronológicas. Dissert. de Mestrado, IG-USP, São Paulo, 140 p.
- SILVEIRA, C.L.P. - 1986 - Geoquímica da Mineralização Metassomática Urano-Sódica de Espinharas (Pb). Tese de Doutorado. Departamento de Química PUC-RJ, 288 p.
- SILVA, A.M.; KUYUMJIAN, R.M. & CHEMALE Jr. - 1991 - Mafic Dyke Swarms in Southern São Francisco Craton, Southeastern Brasil. In: Intern. Symp. on Mafic Dykes. São Paulo, Brasil, 90-93.
- SIMMONS, G.C. & MAXWELL, C.H. - 1961 - O Grupo Tamandua da Série Rio das Velhas. DNPM/DGM, Bol. 211, 30 p.
- SIMPSON, C. & SCHMID, S. - 1983 - An Evaluation of Criteria to Deduce the Sense of Movement in Sheared Rocks. Geol. Soc. Am. Bull., 94:1281-1288.
- SOARES Fº., B.S. - Mapeamento Regional, Projeto Ouro - Conceição do Mato Dentro. Relat. Interno. COMIG, Belo Horizonte, 47 p.
- SOUZA Fº, C.R ; RODRIGUES, L.C.R; CHEMALE Jr. F. & ALKMIN, F.F. - 1989 - Aspectos Deformacionais e Relações Litoestratigráficas na Mina de Conceição, Distrito Ferrífero de Itabira, MG. In: Simp.Geol.MG, 5, Belo Horizonte, SBG, Bol. vol. 10, 16-20.
- TEIXEIRA, W. - 1985 - A Evolução Geotectônica da Porção Meridional do Craton do São Francisco, com Base em Interpretações Geocronológicas. Tese de Doutorado, São Paulo, USP, 207 p. (inédita).
- TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; TAYLOR, P.N. & SCHMUS, W.R. - 1987 - Archean and Early Proterozoic Crustal Evolution in the Southern Part of the São Francisco Craton. In: Simp. Intern. "Granites and Associated Mineralizations", Salvador, Extended Abstracts, 37-40.
- TEIXEIRA, W.R.; DOSSIN, I.A.; DOSSIN, T.M.; SALVADOR, E.D.; SIGA JR., O. & SATO, K. - 1990 - Interpretação do Contexto Geotectônico do Embasamento na Borda leste do Sistema Espinhaço, Região de Guanhães e Gouveia - Mg, com base numa Integração do seu Conjunto Geocronológico U/Pb,

- Rb/Sr e K/Ar. In: Congr.Bras.Geol., 36, Natal, SBG, 6: 2711-2722.
- THORPE, R.J.; CUMMING, G.L. & KRSTIC, C. - 1984 - Lead Isotopis Evidence Age of Gold Deposits in Nova Lima District, Minas Gerais, Brazil. Rev.Bras.Geoc., 14 (3), 147-162.
- TOBISCH, O.T. & PATERSON, S.R. - 1988 - Analysis and Interpretation of Composite Foliations in Areas of Progressive Deformation. Jour. Struct. geol., v. 10, nº 7, 745-754.
- TORQUATO, J.R. & FOGAÇA, A.C.C. - 1981 - Correlação entre o Supergrupo Espinhaço no Brasil, Grupo Chela em Angola e Formações Nosib e Khoabendus da Namíbia. In: Simp. sobre a Geol. do Craton do São Francisco e suas Faixas Marginais, 1, Salvador, p. 87-98.
- TULLIS, J. - 1983 - Deformations of Feldspars. In: Feldspar Mineralogy (Ribbe, P.H.- Ed.), Reviews in Mineralogy, v. 2, 297-323.
- TURNER, F.J. - 1981 - Metamorphic Petrology, Mineralogical, Field and Tectonic Aspects. New York, McGraw-Hill, 523 p.
- UHLEIN, A. - 1982 - Geologia e Mineralizações de Cromita e Itabiritos na Região do Serro - MG. Diss. de Mestrado, Brasília, UnB, 189 p. (inédita).
- UHLEIN, A.; TROMPETTE, R. & SILVA, M.E. - 1986 - Estruturação tectônica do Supergrupo Espinhaço na Região de Diamantina. Rev.Bras.Geoc., 12, 212-216.
- UHLEIN, A. - 1991 - Transição Cráton-Faixa Dobrada. Um Exemplo do Cráton do São Francisco e da Faixa Araçuaí (Ciclo Brasileiro) no Estado de Minas Gerais. Tese de Doutorado, IG-USP, 295 p.
- VIDAL, J.L.; KUBIN, L.; DEBAT, P. & SOULA, J.C. - 1980 - Deformation and Dynamic recrystallization of K-Feldspar augen in Ortogneiss from Montagne Noir, Occitania, Southern France. Lithos, 13:247-255.
- VILELA, O.V. & SANTOS, O.M. - 1983 - Dados Preliminares sobre o Depósito de Minério de Ferro da Serra da Serpentina, Conceição do Mato Dentro, MG. In: Simp.Geol.MG, 2, Belo Horizonte, SBG, Bol. 3, 333-346.
- VILELA, O.M.; LAGUNA, A.G.M. & SANTOS, O.M. - 1983 - Prospeção e Geologia da Jazida de Minério de Ferro de Morro do Pilar. In: Simp.Geol.MG, 2, Belo Horizonte, SBG, Bol. 3, 321-332.

- YODER, H.S. & TILLEY, J.R. - 1962 - Origin of Basalt Magmas: An Experimental Study of Natural and Synthetic Rocks Systems. Journ. Petrol., v. 3, 342-532.
- WEAVER, B.A. & TARNEY, J. - 1981 - Chemical Changes During Dyke Metamorphism in High-Grade Basement Terrains. Nature, 289: 47-49.
- WILLIAMS, H.; TURNER, F.J. & GILBERT, C.M. - 1982 - Petrography. Freeman & Company, N.Y., 2ª edição, 626 p.
- WILSON, M. - 1989 - Igneous Petrogenesis. Unwin & Hyman Ltd., 466 p.
- WINKLER, H.G.F. - 1977 - Petrogênese das Rochas Metamórficas. São Paulo, Ed. Edgard Blucher LTDA., 256 p. (Traduzido para o português).
- WOOD, D.A.; JORON, J.L.; TREUIL, M.; NORRY, M. & TARNEY, J. - 1979 - Elemental and Sr Isotope Variations in Basic Lavas from Iceland and the Surrounding Ocean Floor. Contrib. Miner. Petrol., 70: 319-339.

ANEXOS

ANEXO I
GEOLOGIA REGIONAL

GEOLOGIA REGIONAL

Histórico sobre a Evolução dos Conhecimentos

A Serra do Espinhaço, denominada assim por Eschwege (1822: *apud* Renger 1979), é uma cadeia montanhosa alinhada na direção NS e que se estende por cerca de 1.200 Km desde a região central de Minas Gerais até o norte da Bahia.

Os primeiros estudos geológicos datam do início do século XVIII devido à importância econômica da região em termos de recursos minerais, principalmente o ouro e o minério de ferro na extremidade sul da Serra (região do Quadrilátero Ferrífero) além do diamante na região de Diamantina. Do início do século destacam-se os trabalhos de Derby (1906) e Harder & Chamberlin (1915). O primeiro dividiu as litologias constituintes da Serra do Espinhaço em 3 grupos: 1º-gnaisses e mica-xistos; 2º-xistos, quartzitos e calcários da região aurífera ; 3º-quartzitos e arenitos da região diamantífera. Para o segundo grupo ele propôs a denominação de Série Minas.

Harder & Chamberlin (*op.cit.*) dividiram a Série Minas em 5 formações das quais a formação basal (Quartzito Caraça) incluía o espesso pacote de quartzitos da Serra do Espinhaço. Estes autores tecerem ainda considerações sobre a tectônica e geotectônica da região, a partir da observação de dobramentos e cavalgamentos de grande escala relacionados por eles à compressão de blocos crustais, responsável pela elevação da Serra. O ambiente de deposição da Série Minas é considerado como do tipo delta, com passagem gradativa (verticalmente e lateralmente) de sedimentos de origem clástica (Quartzito Caraça e Xisto Batatal) para sedimentos de origem química (Formação Ferrífera Itabira).

Moraes & Guimarães (1930) consideraram os quartzitos da Serra do Espinhaço (denominados por eles de Série Itacolomi) como mais jovens que os itabiritos da Série Minas. Reconheceram a presença de importantes injeções de metabasitos (diabásios e basaltos metamorfisados) na região do Quadrilátero Ferrífero e Serra do Espinhaço Meridional, e descreveram, na região ao N de Diamantina, um dique de "basaltito" não metamorfisado,

correlacionável, segundo eles, ao magmatismo basáltico mesozóico do Brasil meridional.

O primeiro modelo geotectônico, proposto por Barbosa (1954), considerou dois ciclos geossinclinais: um mais antigo representado pelo conjunto de xistos da região central do Quadrilátero Ferrífero (denominados por ele de Série Barbacena); e um segundo ciclo da Série Minas. Barbosa (*op.cit.*) manteve os quartzitos da Serra do Espinhaço como equivalentes ao Quartzito Caraça (Harder & Chamberlin, 1915) e interpretou-os como uma sequência do tipo miogeossinclinal.

Dorr *et al.* (1957) e Dorr (1969) redefiniram formalmente a Série Minas no Quadrilátero Ferrífero, dividindo-a em grupos e formações (Fig. 1a). A sequência de xistos mais antigos que a Série Minas foi definida e denominada de Série Rio das Velhas, sendo considerada então a unidade mais antiga da região. As rochas gnáissicas e migmatíticas, até então consideradas por todos os autores como as mais antigas, foram reinterpretadas como mais jovens, com base nas primeiras datações radiométricas realizadas (Herz & Dutra 1958). Interpretações semelhantes foram propostas para o complexo gnáissico-migmatítico de Gouvêia na região central da Serra do Espinhaço Meridional, que foi considerado como intrusivo nos quartzitos (Pflug & Carvalho, 1964). Dorr (*op.cit.*) ainda incluiu na base da Série Minas uma unidade de quartzitos, filitos e itabiritos (Grupo Tamanduá) definidos (e anteriormente colocados no topo da Série Rio das Velhas), por Simmons & Maxwell (1961).

Pflug (1965) distinguiu 3 facies no que ele chamou de Geossinclinal Minas: a Facies Diamantina, como miogeossinclinal, caracterizada por filitos, quartzitos e metaconglomerados; a Facies Itabira, como transicional e constituída por quartzitos, itabiritos, rochas carbonáticas e filitos; e a Facies Guanhões, eugeossinclinal, composta de metarcósios e gnaisses. Os metaconglomerados diamantíferos da região de Diamantina (Facies Diamantina) foram correlacionados estratigraficamente aos itabiritos (Facies Itabira) do Quadrilátero Ferrífero, a partir de um modelo de variação faciológica caracterizada por um aumento de seixos de itabirito nos metaconglomerados à medida que se avançava mais para o sul e para o leste de Diamantina,

passando então a itabiritos típicos. Pflug (1968) dividiu o espesso pacote de quartzitos e filitos da Serra do Espinhaço na região de Diamantina (Facies Diamantina) em 8 formações (Fig Ib).

Barbosa (1968) considerou que o Geossinclinal do Espinhaço (termo utilizado por ele como restrito aos metassedimentos da serra homônima) já teria sofrido deformações orogênicas antes da deposição da Série Minas e seria, portanto, a área fonte para a sedimentação inicial desta última.

Grossi Sad (1968) denominou de "Cinturões Serpentiníticos" as faixas de rochas metaultramáficas que ocorrem ao longo da borda leste da Serra do Espinhaço e na região do Quadrilátero Ferrífero, comparando-as a ofiolitos modernos.

Herz (1970) classificou as rochas granito-gnáissicas da região do Quadrilátero Ferrífero em grupos com idades distintas, mantendo porém a interpretação de Dorr (1969) quanto a origem intrusiva. Herz (*op.cit.*) forneceu ainda uma idade de 2.800 m.a. obtida em um mica-xisto, que foi interpretada como a idade do metamorfismo da Série Rio das Velhas.

Pflug & Renger (1973) mantêm o modelo faciológico de Pflug (1965) e denominaram de Supergrupo Pré-Minas as unidades de xistos, gnaisses, migmatitos e granitóides que afloram na região central da Serra do Espinhaço Meridional e Quadrilátero Ferrífero, considerando-o como embasamento cratônico (Craton Sanfranciscano - Pflug *et al.* 1969, *apud* Pflug & Renger 1973) para o então denominado Supergrupo Minas, em substituição ao termo Série Minas. Além disso, reuniram sob o nome de Supergrupo São Francisco todos os sedimentos e metassedimentos proterozóicos considerados como posteriores ao soerguimento da cadeia Minas, inclusive aqueles dos Grupos Macaúbas (quartzitos, filitos e diamictitos) e Bambuí (calcários e folhelhos).

Almeida (1977) definiu o Craton do São Francisco como uma entidade tectônica consolidada ao término do Ciclo Transamazônico (em torno de 2.000 m.a.) sendo limitado a leste pela "Faixa de Dobramentos Araçuaí", de idade Brasileira (cerca de 600 m.a.), que incluía as sequências metassedimentares da Serra do Espinhaço Meridional. O Supergrupo Minas, tal como

A

SUPER-GRUPO	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	AMBIENTE DEPO-SICIONAL	ESPESSURA APROX EM METROS
MINAS	ITACOLOMI	INDIFERENCIADO	ORTOQUARTZITOS, QUARTZITOS, FILITOS QUARTZOSOS, FILITOS, QUARTZITOS C/ SEIXOS, CONGLOMERADOS	"MOLASSE" PARÁLICO?	> 1000 ?
	PIRACICABA	SABARA	CLORITA-XISTOS, FILITOS CLORÍTICOS, METATUFOS, GRAUVACAS, CONGLOMERADOS, QUARTZITOS, ITABIRITOS	FLYSCH? EUGEOSSINCLINAL	> 3000
		LOCAL			
		BARREIRO	FILITOS E FILITOS GRAFITOSOS	SEDIMENTOS DE COBERTURA DE "SHELF" ESTÁVEL	150 LOCAL-TIPO
		TABOES	ORTOQUARTZITO	//	125 LOCAL-TIPO
		FÊCHO DO PONIL	FILITOS QUARTZOSOS, FILITOS DOLOMITICOS, DOLOMITOS SILICIFICADOS	//	410 LOCAL-TIPO
	ITABIRA	CERCA-DINHO	FILITOS, SERICITA-QUARTZITOS, QUARTZITOS E FILITOS FERRUGINOSOS, "METACHERT", CONGLOMERADOS, DOLOMITOS	//	~ 600 MÁX A 150 MÍN
		LOCAL			
		GAUDA-RELA	DOLOMITOS, CALCÁRIOS, ITABIRITOS DOLOMITICOS, XISTOS-DOLOMITICOS E ITABIRITOS MANGANESIFEROS, FILITOS, ITABIRITOS, XISTOS VERDES	//	~ 600 MÁX A AUSENTE
	CARAÇA	CAUÊ	ITABIRITOS, ITABIRITOS DOLOMITICOS, FILITOS, DOLOMITOS, XISTOS VERDES	//	~ 500 MÁX A < 50 MÍN
		BATATAL	FILITOS, FILITOS GRAFITOSOS, "METACHERT", ITABIRITOS	//	~ 250 MÁX A AUSENTE
		MOEDA	FÁCIES PARÁLICA ORTOQUARTZITOS, QUARTZITOS, CONGLOMERADOS, FILITOS, FÁCIES DE BACIA SERICITA-QUARTZITOS, FILITOS QUARTZOSOS, QUARTZITOS	"SHELF" ESTÁVEL	~ 1000 MÁX A < 50 MÍN
CONTATO BASAL TECTÔNICO (DE "NAPPE") COM AS LITOLOGIAS DOS SUPERGRUPOS ESPINHAÇO E RIO DAS VELHAS E DO COMPLEXO MIGMATITO-GRANULÍTICO DE MINAS GERAIS					

B

FORMAÇÃO	LITOLOGIA	
RIO PARDO GRANDE	FILITOS EM PARTE RICOS EM FERRO E MANGANÊS COM BANCOS DE QUARTZITOS E DOLOMITOS	5 000 m
CÓRREGO PEREIRA	SIMILAR À FORMAÇÃO CÓRREGO DOS BORGES	4 000 m
CÓRREGO DA BANDEIRA	FILITOS?, SILTITOS? LENTES DE QUARTZITOS?	
CÓRREGO DOS BORGES	QUARTZITOS PUROS AS VEZES MICÁCEOS, RARAS BRECHAS IN-TRAFORMACIONAIS	
SANTA RITA	FILITOS E SILTITOS INTERCALADOS	3 000
GALHO DO MIGUEL	ORTOQUARTZITOS PUROS DE GRANULAÇÃO VARIÁVEL SEIXOS E INTERCALAÇÕES DE FILITOS SÃO RAROS. ESTRATIFICAÇÃO CRUZADA É MUITO FREQUENTE	2 000
SOPA-BRUMADINHO	QUARTZITOS, FILITOS, LENTES DE CONGLOMERADOS POLI-E MONOMICTOS, BRECHA QUARTZÍTICA, FILITO HEMATÍTICO	1 000
SÃO JOÃO DA CHAPADA	ORTOQUARTZITOS COM SEIXOS ISOLADOS NA PARTE BASAL, ABUNDANTE ESTRATIF. CRUZADA	0 m
INDIVISO	MIGMATITOS, GNAISSES ANFIBOLITOS, ROCHAS GRANÍTICAS, FILITOS, MICAXISTOS, QUARTZITOS, ITABIRITOS	

FIGURA I : Colunas estratigráficas (extraídas de Inda et al. 1984)

A - Supergrupo Minas (modificada de Dorr, 1969)

B - Supergrupo Espinhaço (segundo Pflug, 1968)

definido no Quadrilátero Ferrífero, é considerado como de idade Transamazônica, mais antigo portanto que o Supergrupo Espinhaço (termo utilizado por Schobbenhaus *et al.* 1978 e Scholl & Fogaça 1979, para designar os metassedimentos da serra homônima).

Schorscher (1975, 1978a e 1980a) considerou os Supergrupos Minas e Espinhaço como depósitos de um único ciclo orogênico, para o qual desenvolveu uma evolução desde um "rift" intracontinental até uma margem continental ativa do tipo alpino, afetada por um metamorfismo regional plurifacial progressivo, por processos de obducção crustal e tectónica de "nappes".

Schorscher (1978b e 1979) redefiniu, com a descoberta de komatiitos na porção leste do Quadrilátero Ferrífero, o Supergrupo Rio das Velhas (em substituição a Série de mesmo nome) como uma sequência do tipo "greenstone belt" arqueana. Em outros locais, ao norte do Quadrilátero Ferrífero, sequências semelhantes com características de "greenstone belt" foram posteriormente descritas por Fogaça *et al.* (1984), Uhlein (1982), Assis (1982) e Almeida Abreu (1989).

Schorscher (1980b) sugeriu o abandono do termo "Grupo Tamandua" correlacionando parte das rochas desta unidade (Quartzito Cambotas) com aquelas do Supergrupo Espinhaço e incluindo as restantes (Formações Sem Nome) no Supergrupo Rio das Velhas.

Pflug *et al.* (1980) e Torquato & Fogaça (1981) propuseram um modelo de margem continental passiva desenvolvida em estágios sucessivos de pré-"rift", "rift" e mar aberto, para explicar a evolução da bacia proterozóica na qual teriam sido depositados os sedimentos do SGr. Espinhaço.

Schorscher *et al.* (1982) dividiram as rochas do "Complexo Embasamental" em constituintes primários, formados essencialmente por gnaisses e migmatitos de composição tonalítica, e constituintes secundários, representados por rochas ígneas metamorfisadas além de rochas metassedimentares e metassomáticas (do tipo "Granito Borrachudos"). Schorscher *et al.* (*op.cit.*) distinguiram três grupos de rochas basálticas com idades diferentes, sendo o primeiro ("metabásicas"), posterior a sedimentação do Supergrupo Espinhaço e anterior à orogênese

Minas-Espinhaço, o segundo, pós-orogênese com evidências de metamorfismo termal não acompanhado de deformação, e um terceiro, não metamorfizado de idade mesozóica.

Hoppe (1984) e Herrgesell (1985) sugeriram um modelo de colisão continental na borda leste da Serra do Espinhaço Meridional, considerada como de idade Transamazônica, para explicar a estruturação tectônica da mesma. Uhlein *et al.* (1986a), Hartmann (1987), Alkmin *et al.* (1989) e Uhlein (1991), associam a orogênese da Serra do Espinhaço ao Ciclo Brasileiro. Dossin *et al.* (1986) e Dossin *et al.* (1990) subdividem o SGr. Espinhaço em dois grupos, denominados de Grupo Diamantina (incluindo as 3 formações basais de Pflug, 1968) e Grupo Conselheiro Mata (agrupando as 5 formações restantes). Estes autores admitem ainda uma idade mais antiga para o SGr. Minas (em relação ao SGr. Espinhaço) na borda leste da Serra do Espinhaço. Almeida Abreu *et al.* (1989) consideraram os itabiritos da borda leste da Serra do Espinhaço como pertencentes ao SGr. Espinhaço.

Marschak & Alkmin (1989) interpretam uma evolução tectônica distinta para os Supergrupos Minas e Espinhaço, atribuindo-os aos eventos Transamazônico e Brasileiro, respectivamente. Atribuem ainda a deposição do SGr. Espinhaço ao final do Proterozóico Médio (em torno de 1.300 m.a.).

Os estudos geocronológicos, através de diferentes métodos de datação radiométrica, se concentraram a partir do final da década de 70 nas regiões do Quadrilátero Ferrífero e Serra do Espinhaço Meridional (por ex. Brito Neves *et al.* 1979, Cordani *et al.* 1980, Parenti Couto *et al.* 1983, Thorpe *et al.* 1984, Teixeira 1985, Siga Jr. 1986, Teixeira *et al.* 1987, Machado *et al.* 1989a e 1989b, e Teixeira *et al.* 1990). Destes trabalhos destacam-se as idades arqueanas obtidas para o complexo gnáissico-migmatítico e para o "greenstone belt" SGr Rio das Velhas, bem como a identificação de dois eventos principais de rehomogenização isotópica na região, com idades relativas aos ciclos Transamazônico (valores entre 2.200 e 1.800 m.a.) e Brasileiro (em torno de 600 m.a.).

Com relação as idades de deposição dos Supergrupos Minas e Espinhaço poucas são as evidências diretas partir de dados

radiométricos, já que rochas ígneas sin-sedimentares passíveis de serem datadas ainda não foram encontradas. Os dados de Machado *et al.* (1989a e b) indicam uma idade máxima para a deposição da Fm. Sabará (topo do SG Minas) de 2.125 m.a. (idade U-Pb em zircão detrítico), enquanto que pelo menos parte do SGr. Espinhaço teria que ser mais antigo que 1.715 m.a. (idade U-Pb em zircão de metamagmatitos ácidos). Idades Pb/Pb para as rochas carbonáticas da Fm. Gandarela e Gr. Piracicaba (Babinski *et al.* 1991) indicam valores de 2.400 m.a..

Os metabasitos tem indicado idades muito diversas quando se utilizam os métodos Rb-Sr e K-Ar (Brito Neves *et al.*, 1979 e Parenti Couto *et al.* 1983). Uma idade U-Pb em frações de badeleita e zircão com 906 m.a. foi obtida por Machado *et al.* (1989b) em um "sill" de metadiabásio porfirítico na região do Serro (borda leste da Serra do Espinhaço Meridional). Para os basaltos são raras as datações radiométricas, destacando-se as idades K-Ar de 90 m.a. (Parenti Couto *et al.* 1983) para um corpo situado na Bacia do Rio São Francisco e de 120 m.a. para um dique na região de Itabira (Silva *et al.* 1991).

Os gnaisses da borda leste da Serra do Espinhaço são ainda muito pouco detalhados. Sabe-se, no entanto, que possuem uma evolução policíclica complexa com sucessivos eventos magmáticos e metamórficos, indicados por idades radiométricas que variam desde arqueanas até do final do Proterozóico Superior (cf. Muller *et al.* 1986, Machado *et al.* 1989b e Teixeira *et al.* 1990).

- As referências bibliográficas estão no item 15 da Dissertação.

ANEXO II**Limites de Detecção para os Elementos Analisados**

LIMITES DE DETECÇÃO PARA OS ELEMENTOS ANALISADOS

- Fluorescência de Raios-X

Elementos Maiores.....Limites de detecção (%)

SiO ₂	0,004
TiO ₂	0,0001
Al ₂ O ₃	0,004
FeO _t	0,002
MnO	0,002
MgO	0,1
CaO	0,0004
Na ₂ O	0,3
K ₂ O	0,0003
P ₂ O ₅	0,007

Elementos Traços.....Limites de detecçãoDesvio Padrão
p.p.m.

Cr	10	8
Ni	7	4
Co	7	10
V	15	7
Cu	14	4
Zn	5	3
Rb	3	2
Ba	30	18
Sr	3	4
Ga	6	2
Nb	7	3
Zr	9	6
Y	8	5

ICP OES

Elementos de Terras Raras

- A metodologia utilizada na separação e detecção dos elementos de terras raras, bem como os padrões utilizados, encontram-se em Silveira (1986).

ANEXO III

Composição Modal de Leucossomas de Migmatitos
do Domínio II - Complexo Gnáissico- Migmatítico

Amostra	Microclinio	Quartzo	Plagioclasio	Moscovita	Clorita	Biotita	Carbonato	Outros
M-195C	33.6	31.5	28.6	3.4	0.6	1.0	0.4	0.9
M-294A	43.2	28.1	27.0	1.0	0.2	0.0	0.5	0.0
M-302	41.5	32.7	22.6	1.6	0.0	1.2	0.0	0.4
M-389	35.6	30.5	28.4	2.0	2.8	0.1	0.2	0.4
M-393B	39.4	29.7	28.7	0.9	0.8	0.0	0.4	0.1

COMPOSIÇÃO MODAL DE AMOSTRAS DOS LEUCOSSOMAS DE MIGMATITOS
DA REGIÃO DE ITABIRA/MORRO DO PILAR (MG)

ANEXO IV
DESCRIÇÃO SUSCINTA DOS AFLORAMENTOS

DESCRIÇÃO SUSCINTA DOS AFLORAMENTOS

Convenções:

Sn = foliação/xistosidade
 Lm = lineação mineral
 Ls = lineação de orientação de seixos
 Lcren = lineação de crenulação
 Ld = lineação de eixo de dobra
 Frat = orientação de fraturas
 So = acamamento

Obs.: Lm e Ls caracterizam a lineação Ln citada no texto da dissertação.

Descrição:

M-1 - Quartzito micáceo, com laminação irregular, anastomosada (milonítica); intercalações de moscovida-xisto.

Sn (milonítica) = N10E/27SE

Lm = S85E/26

M-2 - Quartzito micáceo, laminado

Lm = S85W/03

Frat = N60W/88NE

Amostras: M-2 - quartzito

M-2A - quartzo de veio

M-3 - Quartzito micáceo, laminado, com bandas milimétricas ricas em hematita, dobras intrafoliais

Sn = laminação = N20E/00

Ld = N20E/00

Frat = veios de quartzo = N10W/88

Amostras: M-3A - quartzito hematítico

M-3B - quartzito micáceo

M-3C - quartzo de veio

M-4 - idem M-3

Sn = N05W/30NE

Lm = N90E/25

M-5 - Quartzito micáceo, milonítico

Sn (milonítica) = N05E/25NE

Lm = S80E/30

Amostra: M-5, com lâmina delgada

M-6 - Quartzito micáceo, localmente laminado com intercalações de metaconglomerado com seixos de quartzo e poucos de itabirito

Sn = N05W/35SE

Ls = S80E/20

Amostras: M-6 - matriz do metaconglomerado

M-6A - metabasito (bloco rolado)

- M-7** - Metabasito maciço
Amostra: M-7, com lâmina delgada e análise química
- M-8** - Quartzito laminado com bandas milimétricas, micáceas
Sn = laminação = N10E/25SE
- M-9** - Metabasito maciço
Amostra: M-9, com lâmina delgada e análise química
- M-10** - Quartzito branco com intercalações de
metaconglomerado com seixos de quartzo e de quartzito rosa
Sn = N50W/25NE
Amostra: M-10A - quartzito
- M-11** - Metabasito maciço
- M-12** - Quartzito branco, laminado
Sn = laminação = N20W/15SE
Lm = S85E/12
Amostra: M-12
- M-13** - Quartzito micáceo com bandas ricas em hematita
Sn = bandamento = N40W/25NE
Lm = N90E/20
Amostras: M-13A - quartzito, com lâmina
M-13B - quartzito micáceo
- M-14** - Moscovita-xisto
Sn = N20W/30NE
Amostra: M-14
- M-15** - Moscovita-xisto com intercalações decimétricas de
hematita-moscovita-xisto
Sn = N70E/30NW
Amostras: M-15A - hematita-moscovita-xisto
M-15B - moscovita-xisto, com lâmina
- M-16** - Quartzito hematítico bandado
Sn = bandamento = N10E/35SE
Lm = S85E/30
- M-17** - Quartzito micáceo, laminado
Sn = laminação = N30W/30NE
Lm = N70E/25
Amostra: M-17, com lâmina delgada

- M-18** - Quartzito branco com intercalações de metaparaconglomerados com seixos de quartzo, quartzito hematítico e itabirito; estratificações cruzadas tabulares
 Sn = So = N15E/32SE
 Ls = N88E/30
 Ld = N08E/00
 Amostras: M-18A - metaconglomerado, com lâmina
 M-18B - quartzito
 M-18C - seixos de quartzo e de quartzito hematítico
- M-19** - Gnaiss leucocrático com textura milonítica/metabasito
 Amostra: M-19A - metabasito
- M-20** - Gnaiss leucocrático com intercalações de anfibolito
 Amostras: M-20A - anfibolito
 M-20B - gnaiss
- M-21** - Gnaiss leucocrático / anfibolito
 Amostras: M-21A - gnaiss
 M-21B - anfibolito
- M-22** - Quartzito hematítico bandado
 Sn = N20W/10NE
- M-23** - Contato: quartzito micáceo sotoposto a moscovita-xisto com intercalações de moscovita-hematita-xisto rico em magnetita. Todas as rochas apresentam textura milonítica
 Sn (milonítica) no moscovita-xisto = N50W/40NE
 Amostras: M-23A - quartzito
 M-23B - xisto acom magnetita
 M-23C - moscovita-xisto
- M-24** - Moscovita-xisto
 Sn = N10W/30NE
 Lcren = N10W/00
 Amostra: M-24, com lâmina delgada
- M-25** - Metabasito foliado com porções maciças
- M-26** - Quartzito micáceo, laminado
- M-27** - Metabasito
- M-28** - Gnaiss leucocrático
 Amostra: M-28, com lâmina
- M-29** - Metabasito maciço / moscovita-xisto feldspático.
 Contato tectônico
 Sn = N25W/25NE

M-30 - Metabasito maciço / gnaiss leucocrático com textura milonítica. Contato tectônico.
Amostra: M-30, com lâmina

M-31 - "Augen"-gnaisse, com textura milonítica
Sn (milonítica) = N20E/35SE
Amostra com lâmina delgada

M-32 - idem M-31
Sn (milonítica) = N05E/40SE
Lm = S85E/40
Amostras: M-32 - amostra orientada
M-32A - amostra orientada
Com lâmina

M-33 - Gnaiss leucocrático com textura milonítica
Sn (milonítica) = N25E/35SE
Amostra: M-33

M-34 - Metabasito
Amostra: M-34

M-35 - Metabasito sotoposto e concordante com moscovita-xisto
Sn (no xisto) = contato = N10W/40NE
Amostra: M-35 = canga do contato metabasito/xisto

M-36 - Moscovita-xisto
Amostra: M-36

M-37 - Quartzito micáceo, laminado, localmente com bandas milimétricas, ricas em hematita
Sn = N40E/42SE

M-38 - Moscovita-xisto feldspático, milonítico

M-39 - idem M-38
Sn (milonítica) = N04E/32SE
Lcren = N72E/12

M-40 - idem M-38
Sn (milonítica) = N05E/50SE
Lm = N90E/40
Lcren = N05E/02

M-41 - Quartzxisto micáceo, laminado, localmente hematítico bandado
Sn = laminação = N08E/42SE
Lm = S82E/42

M-42 - Quartzito branco, micáceo, com textura milonítica, intercalações de metaconglomerados com seixos de quartzo bem arredondados

Sn (milonítica) = N10E/30SE

Lm = S85/25

Frat = N10W/70SW

Ld = N05E/05

Amostras: M-42 - quartzito (amostra orientada)

M-42A - quartzito, com lâmina

M-43 - Quartzito branco, micáceo. Dobras apertadas, métricas, deitadas, com vergência para W e eixo aproximadamente NS/subhorizontal

Sn = N15E/25SE

M-44 - Metabasito maciço

M-45 - Quartzito branco, pouco micáceo com intercalações de metaconglomerado com seixos de quartzo

M-46 - Metabasito maciço

M-47 - Metabasito/quartzito branco com intercalações de metaconglomerado com seixos de quartzo e raros de itabirito

Sn = N10E/35SE

M-48 - Quartzito branco

Sn = NS/10E

M-49 - idem M-48

Sn = N20W/30SE

M-50 - Gnaiss leucocrático, milonítico

M-51 - Moscovita-xisto, milonítico

M-52 - Metabasito maciço cortado por veio de quartzo de direção N30E/70NW

Amostras: M-52A e B - metabasito

M-52C - quartzo de veio

Com lâmina

M-53 - Migmatito estromático

Sn = bandamento = N75E/35SE

Amostras: M-53A, B e C - migmatito estromático

Com lâmina

M-54 - idem M-53

Sn = N60W/30SE

M-55 - Moscovita-xisto com turmalina

Sn = N20W/10NE

Lm = N70E/00

Lcren = N70E/00

Amostra: M-55, com lâmina

M-56 - idem M-55

Amostra: M-56, com lâmina

M-57 - Anfibolito / quartzito hematítico bandado

Sn (no quartzito) = N40W/30NE

Lm = N80E/10

Amostra: M-57 - anfibolito, com lâmina

M-58 - Quartzito hematítico bandado, localmente quartzito rosa

Sn = band. = N55W/20NE

Frat = N10E/90

Amostra: M-58 - quartzito rosa (orientada), com lâmina

M-59 - Quartzito hematítico

Amostra: M-59, com lâmina

M-60 - Quartzito hematítico bandado

M-61 - idem M-60

Sn = band. = N20E/10SE

Lm (hematita) = S80E/05

Amostras: M-61A e B - quartzito

M-62 - Quartzito hematítico

Sn = N50W/20NE

M-63 - Solo vermelho

M-64 - Moscovita-xisto com turmalina

Sn = N30W/20NE

Lcren = N55W/10

M-65 - idem M-64

Amostra: M-65 - moscovita-xisto

M-66 - idem M-64

Amostra: M-66 - moscovita-xisto, com lâmina

M-67 - Migmatito estromático

Amostras: M-67A - mesossoma

M-67B - leucossoma, com lâmina

M-68 - Moscovita-xisto

M-69 - Moscovita-xisto com turmalina

M-70 - Moscovita-quartzito-xisto

- M-71** - Metabasito foliado alterado com porções maciças.
Quartzito branco, localmente hematítico
Sn (no quartzo) = N10E/30SE
Amostra: M-71 - metabasito
- M-72** - Metabasito maciço / quartzito rosa / moscovita-xisto
Sn (no quartzito) = N10E/20SE
Amostra: M-72 - moscovita-xisto
- M-73** - Moscovita-xisto com turmalina; milonítico
Sn = N45W/20NE
- M-74** - Moscovita-xisto com turmalina e magnetita/quartzito laminado
Sn (no xisto) = N20E/12SE
Lm = S85E/05
Com lâmina
- M-75** - Quartzito micáceo milonitizado
Sn (milonítica) = N22E/24SE
Lm - S88E/20
- M-76** - Moscovita-xisto com turmalina, milonítico
- M-77** - Quartzito micáceo, laminado, localmente com magnetita
Sn = laminação = N10E/15SE
- M-78** - Quartzito hematítico bandado
Sn = N40E/15SE
Lm = S8SE/05
Veios de quartzo = N10E/90
Amostras: M-78A e B - quartzito
- M-79** - Metabasito maciço
Amostra: M-79, com lâmina delgada e análise química
- M-80** - Quartzito micáceo, laminado, localmente hematítico, bandado
Sn = laminação = N12E/20SE
Lm = S85E/20
- M-81** - Quartzito rosa
Sn = N10E/20SE
Lm = N90E/15
Amostra: M-81
- M-82** - Quartzito rosa, localmente hematítico, bandado
Sn = N15W/25NE
Lm = N90E/20
- M-83** - Metabasito maciço

M-84 - Quartzito hematítico
Sn = N15W/25NE
Lm = N90E/20

M-85 - Moscovita-xisto
Amostra: M-85

M-86 - Quartzito hematítico bandado / moscovita-quartzo-xisto milonítico. Contato tectônico com muitos "pods" de quartzo na zona de contato
Sn (milonítica no xisto) = N20E/10SE
"pods" de quartzo = S80E/05
Loren (no xisto) = N20E/00
Com lâmina

M-87 - Moscovita-xisto

M-88 - Migmatito estromático
Amostras: M-88

M-89 - Moscovita-xisto

M-90 - Moscovita-quartzo-xisto

M-91 - Migmatito estromático

M-92 - Moscovita-xisto

M-93 - Gnaiss leucocrático, milonítico
Amostras: M-93

M-94 - idem M-93
Sn = N35E/20SE
Amostras: M-94A - amostra orientada
M-94B - gnaiss

M-95 - Moscovita-quartzo-xisto, milonítico
Sn (milonítica) = N15W/80NE
Lm = N75E/80

M-96 - Metabasito com bandas milonitizadas
Sn (milonítica) = N30W/40NE
Amostra: M-96, com lâmina e análise química

M-97 - Quartzo-moscovita-xisto

M-98 - Biotita-gnaiss
Amostra: M-98

M-99 - Migmatito estromático

M-100 - Metabasito foliado
Sn = N20E/20SE
Amostra: M-100, com lâmina

M-101 - Biotita-gnaiss

Amostra: M-101

M-102 - Moscovita-xisto com turmalina

Sn = N30E/45SE

Lren = N30E/00

M-103 - Migmatito estromático

Amostra: M-103

M-104 - Quartzito milonítico com cianita

Amostra: M-104 - milonito de quartzito

M-104 - xisto com hematita

Com lâmina

M-105 - Quartzito micáceo, milonítico

M-106 - Metabasito maciço

M-107 - Gnaiss leucocrático, milonítico

M-108 - Quartzito branco, laminado

M-109 - Quartzito branco, micáceo

Sn = N05E/25SE

Lm = N90E/25

Frat = S85E/90

Veios de quartzo = N10E/90

M-110 - Migmatito estromático

Sm = band. = N30W/20NE

Amostras: M-110 - leucossoma

M-110A - mesossoma (melanossoma?)

M-111 - Gnaiss leucocrático, milonítico

M-112 - Moscovita-xisto com turmalina

Sn = N45W/20NE

Lren = N45E/20

Amostras: M-112 - amostra orientada

M-112A - moscovita-xisto

Com lâmina

M-113 - Gnaiss leucocrático, milonítico

Sn (milonítico) = N60E/70SE

Com lâmina

M-114 - Migmatito estromático

Sn = N20E/40SE

Amostras: M-114A - mesossoma

M-114B - leucossoma

- M-115 - Moscovita-quartzo-xisto
Sn = N60E/50SE
Amostra: M-115
- M-116 - Metabasito maciço
- M-117 - Quartzito branco, laminado
Sn = N20E/35SE
Lm = S80E/30
- M-118 - Quartzito hematítico bandado
Sn = band. = N10W/20NE
- M-119 - Quartzito micáceo, laminado, localmente com bandas, ricas em hematita
Sn = laminação = N75W/25NE
Lm = S85E/05
- M-120 - Quartzito hematítico bandado
Sn = band. = N10E/10SE
Lm = S80E/10
- M-121 - idem M-120 (milonítico)
Sn (milonítica) = N05W/15NE
Lm = N90E/12
Amostras: M-121 - duas amostras orientadas, com lâmina
- M-122 - "Filito hematítico"
Sn = N40W/20NE
Amostra: M-122, com lâmina
- M-123 - Moscovita-xisto
- M-124 - Gnaiss leucocrático, milonitizado
Amostra: M-124
- M-125 - Metabasito maciço
- M-126 - idem M-125
- M-127 - idem 125
- M-128 - Moscovita-xisto
Sn = N10W/25SE
- M-129 - Quartzito branco, micáceo, milonítico
Sn (milonítica) = N15E/35SE
- M-130 - Metabasito maciço
Amostra: M-130

M-131 - Quartzito branco, muito milonitizado
Sn = N20W/25NE
Frat = N80E/subvertical
Amostra: M-131

M-132 - "Filito hematítico" encaixado em quartzito
hematítico bandado
SN = contato = N10W/20NE
Amostra: M-132, com lâmina

M-133 - "Filito hematítico"
Amostra: M-133A, com lâmina

M-134 - "Filito hematítico"
Sn = N05E/30SE
Lm = N90E/25
Amostra: M-134

M-135 - "Filito hematítico"

M-136 - Quartzito hematítico bandado com intercalações de
filito hematítico bandado
Sn = NS/25E
Lm = N90E/25
Amostra: M-136 - quartzito

M-137 - "Filito hematítico"

M-138 - Migmatito estromático
Amostra: M-138

M-139 - Quartzito hematítico bandado com intercalações de
"filito hematítico"
Sn = (no filito) = N10W/30SE
Amostra: M-139 - "filito hematítico", com lâmina

M-140 - Metabasito maciço
Amostra: M-140

M-141 - Quartzito micáceo com bandas ricas em hematita;
textura milonítica
Sn (milonítica) = N60W/45NE
Lm = N85E/20
Amostra: M-141

M-142 - Metabasito foliado (milonítico)
Sn (milonítica) = N50W/35NE
Amostra: M-142, com lâmina

M-143 - Quartzito micáceo, laminado
Sn = N45W/25NE
Lm = S80E/10

M-144 - Metabasito foliado

- M-145 - "Filito hematítico"
Amostra: M-145, com lâmina
- M-146 - Canga
- M-147 - Quartzito hematítico bandado
Sn = band. = N05W/30NE
Lm = S82E/25
- M-148 - "Filito hematítico" com magnetita
Sn = N10E/25SE
Lm = N90E/25
Amostra: M-148, com lâmina
- M-149 - "Filito hematítico"
Amostra: M-149
- M-150 - Quartzito-moscovita-xisto, feldspático, milonítico
Sn = N30E/15SE
Amostra: M-150, com lâmina
- M-151 - idem M-150
- M-152 - "Filito hematítico"
- M-153 - Quartzito-moscovita-xisto com magnetita
- M-154 - Quartzito micáceo com intercalações de "filito hematítico"
Sn = N30E/15SE
Amostra: M-154 - "filito hematítico"
- M-155 - Quartzito hematítico bandado
Sn = band. = N05E/12SE
Lm = S85E/12
- M-156 - "Granitóide" Borrachudos, textura milonítica
Sn = N30W/30NE
Lm = N90E/20
- M-157 - "Granitóide" Borrachudos
Amostras: M-157A, B, C e D - "granitóide" Borrachudos
- M-158 - idem M-157
Amostra: M-158, com lâmina
- M-159 - idem M-157
Amostra: M-159
- M-160 - idem M-157
Amostra: M-160, com lâmina
- M-161 - Metabasito maciço

- M-162 - Quartzo-moscovita-xisto
Amostra: M-162
- M-163 - Gnaiss leucocrático, milonitizado
- M-164 - Moscovita-xisto
- M-165 - Moscovita-xisto com magnetita
- M-166 - "Granitóide" Borrachudos
- M-167 - idem M-166
Sn = N20E/35SE
Amostra: M-167
- M-168 - idem M-166
- M-169 - idem M-166
Amostra: M-169
- M-170 - Moscovita-quartzo-xisto feldspático; milonítico /
veios de quartzo com sulfeto
Amostra: M-170 - quartzo de veio com sulfeto
- M-171 - Migmatito estromático com "bandamento" irregular;
porções mais micáceas (milonitizadas)
Sn (milonítica) = N10E/22SE
Amostra: M-171, com lâmina
- M-172 - idem M-171. Duas foliações
Sn = N05E/25SE
Sn-1 = band. = N80W/50SW
- M-173 - Quartzito micáceo com magnetita (milonito)
Sn (milonítica) = N40W/35NE
Amostra: M-173
- M-174 - Metabasito maciço
- M-175 - Metabasito foliado
Amostra: M-175
- M-176 - Quartzito rosa
Amostra: M-176
- M-177 - Metabasito maciço
Amostra: M-177, com lâmina e análise química
- M-178 - Gnaiss leucocrático
- M-179 - idem M-178
Amostra: M-179

M-180 - Biotita-gnaiss bandado
 Sn = band. = NS/34E

M-181 - "Granitóide" Borrachudos
 Amostra: M-181A, com lâmina

M-182 - idem M-181
 Sn = N10E/40SE
 Amostra: M-182

M-183 - Moscovita-xisto

M-184 - "Granitóide" Borrachudos
 Sn = N02E/42SE
 Lm = N90E/45
 Amostras: M-184
 M-184A - amostra orientada, com lâmina

M-185 - "Granitóide" Borrachudos / metabasito maciço

M-186 - "Granitóide" Borrachudos

M-187 - idem M-186

M-188 - idem M-186

M-189 - idem M-186

M-190 - Moscovita-xisto com "olhos" de quartzo azulados;
 localmente, picos em magnetita
 Sn = N20E/25
 Lm = S80E/25
 Amostra: M-190

M-191 - Moscovita-quartzo-xisto, textura milonítica
 Sn = N40E/85
 Lm = N90E/60

M-192 - Migmatita com estrutura dobrada
 Com lâmina

M-193 - Biotita-gnaiss, textura milonítica
 Sn (milonítica) = N15W/25NE
 Amostra: M-193

M-194 - Migmatito estromático cortado por veios
 pegmatóides
 Sn-1 = band. = N80W/10SW
 veios pegmatóides = NS/90
 Amostras: M-194A - mesossoma
 M-194B - leucossoma + mesossoma
 M-194C - veios pegmatóides
 M-194D - leucossoma com sulfetos

M-195 - Migmatito estromático / "Augen"-gnaiss

Sn = N80E/50SE

Lm = N80E/00

Amostras: M-195A e B - migmatito

M-195C - "Augen"-gnaiss

M-196 - idem M-196

Sn = N10E/15SE

Sn-1 = band. = N80E/35SE

M-197 - Migmatito estromático

Amostra: M-197

M-198 - Moscovita-xisto (milonito)

M-199 - Quartzo-moscovita-xisto, feldspático (milonito)

M-200 - Quartzito hematítico bandado

Sn = band. = N10E/08SE

Lm = S80E/08

Amostra: M-200

M-201 - Moscovita-xisto com magnetita

Amostra: M-201

M-202 - Moscovita-xisto com magnetita

M-203 - Quartzito hematítico bandado

Sn = N30W/20NE

Lm = N90E/10

M-204 - Quartzito branco, micáceo

Amostra: M-204

M-205 - Quartzito hematítico bandado

Sn = N03E/25SE

Lm = S85E/25

Amostra: M-205

M-206 - Moscovita-xisto com "olhos" de quartzo azulado

Amostra: M-206

M-207 - "Granitóide" Borrachudos

M-208 - Quartzo-moscovita-xisto

Amostra: M-208

M-209 - "Granitóide" Borrachudos

Amostra: M-209

M-210 - idem M-209

Sn = N10E/30SE

Amostra: M-210

M-211 - idem M-209
Amostra: M-211

M-212 - Gnaiss leucocrático, milonítico / moscovita-xisto
(milonito)

M-213 - Gnaiss leucocrático, milonítico
Amostra: M-213

M-214 - idem M-213

M-215 - Metabasito maciço

M-216 - "Granitóide" Borrachudos
Amostra: M-216

M-217 - Quartzo-moscovita-xisto

M-218 - "Granitóide" Borrachudos

M-219 - idem M-218

M-220 - Metabasito
Amostra: M-220

M-221 - Metabasito foliado
Sn = N30W/35NE
Amostra: M-221

M-222 - Biotita-gnaiss com intercalações de anfibolito
Sn = N08W/40NE
Lm = N82E/40
Amostras: M-222 - gnaiss
 M-222A - gnaiss - amostra orientada
Com lâmina

M-223 - Gnaiss leucocrático, milonítico
Sn = N40W/27NE

M-224 - Metabasito maciço
Amostra: M-224, com lâmina e seção polida; com análise
química

M-225 - Metabasito maciço
Amostra: M-225

M-226 - Metabasito foliado
Sn = N10E/15SE
Amostra: M-226

M-227 - Gnaiss leucocrático

M-228 - Gnaiss leucocrático

- M-229 - idem M-228
- M-230 - Metabasito
Amostra: M-230
- M-231 - idem M-230
- M-232 - idem M-230
- M-233 - Biotita-gnaiss
Sn = N25E/35SE
Amostras: M-233 - gnaiss
 M-233A - gnaiss milonitizado
Com lâmina
- M-234 - Metabasito
- M-235 - "Augen"-gnaiss
Amostra: M-235
- M-236 - Gnaiss leucocrático, milonítico
- M-237 - Quartzito micáceo, laminado
Sn = N20W/42SE
- M-238 - Metabasito maciço
Amostra: M-238, com lâmina e seção polida; com análise química
- M-239 - Metaortoconglomerado polimítico
Amostra: M-239
- M-240 - Quartzito baranco, com intercalações de metaconglomerado polimítico
Amostras: M-240A - seixos do metaconglomerado
 M-240b - quartzito
- M-241 - Quartzito hematítico
Amostra: M-241
- M-242 - Quartzito micáceo, laminado
Sn = laminação = N03W/42NE
- M-243 - Gnaiss leucocrático, milonítico
- M-244 - idem M-243
Sn (milonítico) = N03E/25SE
- M-245 - Moscovita-quartzo-xisto
Sn = N25W/30NE
- M-246 - Moscovita-xisto

M-247 - Quartzito branco

Sn = N05W/50NE

Lm = N85E/50

M-248 - Metabasito foliado

M-249 - "Filito hematítico" / moscovita-xisto

Amostras: M-249 - "filito hematítico", com lâmina

M-249A - moscovita-xisto

M-250 - Metabasito maciço

M-251 - idem M-250

Amostra: M-251

M-252 - Moscovita-xisto

Amostra: M-252

M-253 - Quartzito micáceo

Sn = N26E/40SE

Lm = S80E/35

M-254 - Metabasito

M-255 - Gnaisse leucocrático

M-256 - idem M-255

M-257 - Metabasito maciço

M-258 - Moscovita-quartzito-xisto, textura milonítica

M-259 - Metaortoconglomerado polimitico

Sn = N20E/30SE

Lm = S70E/30

Amostra: M-259

M-260 - "Augen"-gnaisse

Amostras: M-260A - gnaisse fino

M-260B - "Augen"-gnaisse

Com lâmina

M-261 - idem M-260 com intercalações de anfibolito-xisto

Sn = N15E/48SE

Amostra: M-261 - anfibolito-xisto

M-262 - idem M-260

M-263 - Metaortoconglomerado polimitico, seixos estirados / moscovita-xisto

Sn = N10E/25SE

Ls = S80E/25

Amostras: M-263A - seixos de itabirito
M-263B - metaortoconglomerado
M-263C - moscovita-xisto

Com lâmina

M-264 - Metabasito maciço

M-265 - "Granitóide" Borrachudos

M-266 - idem M-265

M-267 - idem M-265

Amostras: M-267, com lâmina

M-268 - Migmatito estromático com faixas de biotita-xisto

Amostras: M-268 - migmatito, com lâmina

M-268A - biotita-xisto

N-269 - "Granitóide" Borrachudos

Amostra: M-269

M-270 - "Granitóide" Borrachudos com intercalações de biotita-quartz-xisto

Sn = N65E/45NW

Lm = N80E/05

Amostra: M-270 - biotita-quartz-xisto

M-271 - Gnaiss leucocrático, milonítico

M-272 - "Grantóide" Borrachudos

Sn = N40E/25SE

M-273 - idem M-272

M-274 - Moscovita-xisto (milonito)

Sn = N04E/50SE

Amostra: M-274

M-275 - Milonito-gnaiss (tectonitos L)

Lm + N88E/20

Amostras: M-275

M-276 - Itabirito / xisto carbonático

Sn = contato = N10E/12SE

Frat = N40W/80SW

Amostras: M-276A - xisto

M-276B - itabirito

- M-277** - Itabirito
Amostras: M-277AA - xisto carbonático muito alterado
M-277AB - hematita compacta
M-277B - itabirito
- M-278** - Moscovita-quartzito-xisto
Sn = N30W/05NE
Amostra: M-278
- M-279** - Milonito-gnaiss
Amostras: M-279A e B - milonito-gnaiss
- M-280** - idem M-279
- M-281** - "Augen"-gnaiss (milonito)
Amostra: M-281
- M-282** - Moscovita-quartzito-xisto
Sn = N70W/30NE
Amostras: M-282 e M-282A - moscovita-quartzito-xisto
- M-283** - idem M-282
Sn = N05W/30NE
Lm = N90E/25
- M-284** - idem M-283
Sn = N30W/15NE
Lm N80E/05
Amostra: M-284
- M-285** - Quartzito hematítico bandado / moscovita-xisto / itabirito. Contato tectônico Espinhaço/Minas
Sn (milonítica) = contato = N20W/25NE
Amostras: Série M-285, com lâmina
- M-286** - Xisto alterado (carbonático?)
- M-287** - Milonito-gnaiss
Amostra: M-287
- M-288** - Metabasito maciço
Amostra: M-288
- M-289** - Quartzito-moscovita-xisto
- M-290** - Milonito-gnaiss

M-291 - Quartzito hematítico bandado com "intercalações" de metabasito milonítico
 Sn (milonítica) = N15E/20SE
 Lm = S80E/20

Amostras: M-291A - quartzito
 M-291B - metabasito foliado, com lâmina
 M-291C - metabasito foliado
 M-291D - cumulos de plagioclásio, com lâmina
 M-291E - itabirito (bloco rolado)

M-292 - Quartzito rosa

M-293 - Itabirito / xisto carbonático

Amostra: M-293 - xisto

M-294 - Migmatito com estrutura do tipo dictionítica

Bandamento = N80W/60SW

Sn = N80E/90

Amostra: M-294, com lâmina

M-295 - Migmatito estromático

Sn = band. = N42E/50SE

Amostra: M-295

M-296 - idem M-295

Sn = band. = N25W/40NE

Lm = N70E/35

Amostra: M-296

M-297 - idem M-295

M-298 - Quartzo-muscovita-xisto / anfibolito ultramáfico (hornblendito)

Amostra: M-298, com lâmina

M-299 - Anfibolito ultramáfico

Amostra: M-299

M-300 - Metaultramáfica (talco+carbonato+anfibólio+clorita) com magnetita e pirita em contato com milonito-gnaiss

Sn (no gnaiss) = contato = N64E/85NW

Lm (no gnaiss) N56E/32

Amostras: M-300A e B - metaultramáfica

M-300C - milonito-gnaiss

M-300D, M-300₁, M-300₂ - metaultramáfica

M-300₃ - anfibolito

M-300₄ - gnaiss

Com lâmina

M-301 - Moscovita-xisto com turmalina

Sn = N25W/30NE

Lm = N70E/30

Ld = N70E/30

Lcren1 = N10W/12

Lcren2 = N62E/35

M-302 - Migmatito dictionítico / biotita-xisto

Amostras: M-302, M-302A - migmatito

M-302B - biotita-xisto

M-303 - Migmatito estromático/dobrado

Sn = band. = N50W/42NE

Ld = N40E/42

Ld = N20E/10

M-304 - Anfibolito (metabasito)

Sn - N30W/30NE

Amostra: M-304

M-305 - Anfibolito / migmatito estromático com porções de milonito-gnaissse

M-306 - "Granitóide" Borrachudos

Sn = N30E/35SE

Lm = N88E/30

Com lâmina

M-307 - Itabirito sobreposto a quartzo-hematita-xisto

Sn = So (contato) = N30W/25NE

Lm = S80E/05

Veios de quartzo = N30E/70SE

Amostras: M-307 (itabirito + xisto)

M-308 - Moscovita-xisto (milonito)

Sn = N30W/30NE

Amostra: M-308 - moscovita-xisto

M-309 - Milonito-gnaissse

M-310 - Migmatito estromático

Sn = N70W/30NE

Amostra: M-310

M-311 - Metabasito / milonito-gnaissse

Sn (no gnaissse) = N35W/15NE

M-312 - Quartzo-moscovita feldspático

Sn (milonítica) = N40W/40NE

M-313 - Metabasito / moscovita-quartzo-xisto

Amostras: M-313A - moscovita-quartzo-xisto

M-313B - metabasito, com lâmina

- M-314** - Quartzo-moscovita-xisto
Sn = N45W/30NE
Lm = S82E/20
- M-315** - Quartzito micáceo, laminado; dobras recumbentes, métricas
Ld = NOSE/05
Amostras: M-315a, M-315 - quartzito
- M-316** - Quartzito micáceo, laminado
Sn = laminação = N10E/15SE
- M-317** - Quartzito micáceo, laminado, com intercalações métricas de quartzito arcosiano
Sn = N50W/20NE
Amostra: M-317, com lâmina
- M-318** - Quartzito micáceo, laminado; dobras recumbentes, métricas
Ld = N25E/05
- M-319** - Quartzito hematítico bandado
Sn = N80W/45SW
Lm = N65E/70
Amostra: M-319, com lâmina
- M-320** - Quartzito arcosiano
Amostra: M-320, com lâmina
- M-321** - Quartzito arcosiano
Amostra: M-321
- M-322** - Metabasito foliado (muito alterado)
- M-323** - Quartzito micáceo, laminado
- M-324** - idem M-323
- M-325** - idem M-323
- M-326** - idem M-323
Sn = N25W/25NE
- M-327** - idem M-323
Sn = N20W/10NE
Amostra: M-327
- M-328** - Metabasito maciço / migmatito estromático
Amostras: M-328, M-328A, B - metabasito
Com lâmina

M-329 - Migmatito estromático, milonitizado
Sn = N80W/20NE
Lm = N90E/00

M-330 - Migmatito estromático, milonitizado
Sn = band. = N88E/10NW
Lm = N90E/00
Amostras: M-330A, B, C - migmatito
Com lâmina

M-331 - idem M-330
Sn = band. = N80W/30NE
Lm = N85E/05
Amostra: M-331

M-332 - idem M-330
Amostra: M-332

M-333 - idem M-330

M-334 - Moscovita-xisto (milonito)
Sn (milonítico)

M-335 - Gnaiss leucocrático, milonitizado
Sn = N50E/50SE

M-336 - Anfibolito
Sn = N10W/30NE
Com lâmina

M-337 - Moscovita-quartzo-xisto

M-338 - Itabirito
Sn = N40E/80SE

M-339 - Biotita-gnaiss bandada
Sn = band. = N10W/70NE
Amostra: M-339

M-340 - "Augen"-gnaiss
Amostra: M-340

M-341 - Quartzo-muscovita-xisto (milonito)
Sn = N10E/70SE
Lm = S80E/70
Amostra: M-341

M-342 - "Augen"-gnaiss
Amostra: M-342

M-343 - Biotita-gnaiss bandado, milonítico
Amostra: M-343

M-344 - "Granitóide" Borrachudos
Amostra: M-344

M-345 - idem M-344
Sn = N03E/50SE
Lm = S87E/50
Amostra: M-345, com lâmina

M-346 - "Granitóide" Borrachudos
Amostra M-346A - metabasito e basalto; muitos blocos grandes em meio a solo muito vermelho
Amostras: M-346A - basalto, com Lâmina e análise química
M-346AA - metabasito, com lâmina

M-347 - "Granitóide" Borrachudos
Sn = N20W/35NE
Amostra: M-347

M-348 - idem M-347

M-349 - Migmatito estromático com intercalações de biotita-xisto (melanossoma)
Amostras: M-349 (mesossoma e melanossoma)

M-350 - Quartzo-moscovita-xisto com magnetita
Sn = N80E/80SE

M-351 - Quartzo-moscovita-xisto
Amostra: M-351

M-352 - Gnaiss leucocrático
Sn = band. = 254/60
Amostra: M-352

M-353 - Migmatito estromático / anfibolito
Amostra: M-353 - migmatito
M-353A - anfibolito
M-353B - migmatito

M-354 - Itabirito
Amostras: M-354

M-355 - "Granitóide" Borrachudos
Sn = EW/25N
Lm = N75E/00

M-356 - Anfibolito
Amostras: M-356, com lâmina

M-357 - Anfibolito
Sn = N60E/16SE

M-358 - Quartzo-moscovita-xisto / quartzito hematítico bandado
 Sn (no xisto) = N70E/20SE
 Sn (no quartzito) = N88E/23SE

M-359 - Quartzito hematítico bandado
 Sn = N8SE/25SE
 Lm = N8SE/00
 Amostra: M-359 - orientada

M-360 - Quartzo-moscovita-xisto

M-361 - Migmatito estromático / anfibolito
 Sn = band. = N78E/30NW
 Lm = N82E/05

Amostras: M-361A - migmatito, com lâmina
 M-361E - anfibolito concordante, com lâmina
 M-361F - migmatito
 M-361G - anfibolito discordante, com lâmina
 M-361H - migmatito

M-362 - idem M-361

M-363 - idem M-361

M-364 - idem M-361
 Sn = N65W/10NE
 Amostra: M-364

M-365 - Milonito-gnaiss

M-366 - Migmatito estromático
 Amostra: M-366

M-367 - idem M-366
 Amostra: M-367

M-368 - Quartzito hematítico bandado
 Amostra: M-368

M-369 - Migmatito estromático

M-370 - idem M-369

M-371 - idem M-370
 Amostra: M- 371

M-372 - "Augen"-gnaiss

M-373 - Migmatito estromático
 Sn = band. = N85E/07NE
 Lm = N85E/00

M-374 - Quartzito hematítico bandado
Sn = band. = N05W/20NE
Lm = N85E/20

M-375 - Milonito-gnaissé/anfibolito
Amostra: M-375

M-376 - Quartzito hematítico bandado/anfibolito
Sn = contato = N80W/10NE
Lm = N90E/02
Amostras: M-376A - anfibolito
 M-376B - quartzito
Com lâmina e análise química

M-377 - Quartzó-moscovita-xisto
Amostra: M-377

M-378 - Migmatito estromático

M-379 - idem M-378
Sn = band. = N85W/50NE

M-380 - idem M-378
Sn = band. = N60W/12NE

M-381 - Basalto
Amostra: M-381, com lâmina e análise química

M-382 - Quartzito hematítico bandado

M-383 - Quartzito hematítico bandado com intercalações de
"filito hematítico"
Sn (no filito) = N85W/80NE
Ln = N85W/00
Amostras: M-383A - quartzito
 M-383B - "filito hematítico"

M-384 - Migmatito estromático (milonítico)
Amostra: M-384

M-385 - Quartzó-moscovita-xisto
Amostra: M-385

M-386 - Anfibolito
Amostra: M-386

M-387 - Quartzito micáceo
Amostra: M-387, M-387A - quartzito

M-388 - Migmatito estromático
Sn = N60W/35NE

M-389 - "Augen"-gnaissé
Amostra: M-389

M-390 - Milonito-gnaiss/basalto

Amostra: M-390

M-391 - Migmatito estromático cortado por 2 diques de basalto

Direção dos diques = N35W/subvertical

Sn-1 = band. (migmatito) = N80E/20SE

Amostras: M-391A - migmatito, com lâmina

M-391B - basalto (centro do dique), com lâmina e análise química

M-391C - basalto (borda do dique), com lâmina e análise química

M-391D - basalto (dique pequeno), com lâmina e análise química

M-392 - Moscovita-xisto

M-393 - Gnaiss leucocrático cortado por um sill e um dique de anfibolito. Xenólito de gnaiss no anfibolito

Sn-1 = band. (migmatito) = EW/30W

Amostras: M-393 - anfibolito (dique), com lâmina e análise química

M-393A - anfibolito (sill), com lâmina e análise química

M-393B - gnaiss, com lâmina

M-394 - Migmatito estromático / anfibolito

Amostras: M-394A - migmatito

M-394B - anfibolito

Com lâmina

M-395 - idem M-394

Amostra: M-395 - anfibolito

M-396 - Quartzo-moscovita-xisto

Sn - N42W/30NE

Amostra: M-396

M-397 - Moscovita-xisto

Sn = N40W/20NE

M-398 - Itabirito

Amostra: M-398, com lâmina e seção polida

M-399 - Moscovita-quartzo-xisto

M-400 - Anfibolito

M-401 - Moscovita-xisto

M-402 - Quartzo-moscovita-xisto

Sn = N35W/42NE

Amostra: M-402

- M-403 - Metabasito maciço
- M-404 - Moscovita-xisto
- M-405 - Migmatito estromático/metabasito maciço
- M-406 - Migmatito estromático/metabasito maciço
- M-407 - Migmatito estromático/metabasito maciço
Sn = band. = N40W/16NE
Amostra: M-407 - migmatito
- M-408 - Quartzito branco, localmente laminado
Amostra: M-408
- M-409 - Moscovita-xisto
- M-410 - Quartzito micáceo laminado
- M-411 - Quartzito-moscovita-xisto
- M-412 - Saprólito de xisto básico (metabasito?)
- M-413 - Quartzito micáceo, laminado
Sn = N70E/10SE
Lm = N80E/00
- M-414 - Quartzito branco, micáceo, laminado
- M-415 - Solo branco, arenoso
- M-416 - Quartzito micáceo, laminado com intercalações centimétricas de quartzito hematítico
Sn = laminação = N20W/12NE
Amostra: M-416 - quartzito hematítico
Com seção polida
- M-417 - Saprólito de rocha básica foliada
- M-418 - Saprólito de rocha básica foliada
- M-419 - solo cinza (argiloso)
- M-420 - Quartzito arcosiano, muito milonitizado
Amostra: M-420, com lâmina
- M-421 - Quartzito micáceo
- M-422 - Solo rosa
- M-423 - "Filito hematítico"
Amostra: M-423, com lâmina

M-424 - Quartzito hematítico bandado com intercalações
métricas de "filito hematítico"
Sn = N10W/20NE

M-425 - "Filito hematítico"
Sn = N80E/40NW
Ln = N80E/00
Lcren = N10W/70

M-426 - Quartzito hematítico bandado / "filito hematítico"

M-427 - Quartzito hematítico bandado
Sn = N10E/30SE
Falhas inversas rúpteis = N10E/75SE
Ld = S80E/30

M-428 - Migmatito estromático

M-429 - Mina do Cauê; itabirito/xisto verde/quartzito

M-430 - Metaultramáfica muito intemperizada
Amostra: M-430

ANEXO V**MAPAS:**

- MAPA GEOLOGICO
- MAPA DE AFLORAMENTOS

MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO ITABIRA/MORRO DO PILAR - MG

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
BIBLIOTECA

ESCALA 1 : 100.000

GEÓLOGO : MARCELO LOPES VIDIGAL GUIMARÃES

SEÇÕES GEOLÓGICAS

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

CONVENÇÕES

Símbolos utilizados no mapa Geológico e Seções Geológicas

↳ Foliação (S _n)	--- Contato intrusivo indicado ou aproximado
→ Lineação mineral ou orientação de seixos	--- Falha normal
↳ Foliação (S _n =1)	--- Zona de cisalhamento com movimentação principal transcorrente
↳ Cavaleamentos indicados nos perfis	--- Estradas
↳ Cavaleamentos inferidos ou aproximados	○ Cidades e Vilas
--- Contato estratigráfico indicado ou inferido	
✕ Sinformal	

LEGENDA

FANEROZÓICO (Mesozóico)

PROTEROZÓICO INDIVISO

Rochas metatramáficas: corpos tectônicos isolado do tipo "alpino"

Metabasitos: rochas intrusivas, toleíticas, metamorfisadas

PROTEROZÓICO INFERIOR

SUPERGRUPO ESPINHADO

Formação Sopa Brumadinho

Quartzitos e metaconglomerados(?)

Unidade de Quartzitos Laminados

Quartzitos micáceos, muito laminados, predominantes

Unidade Quartzitos Bandados

Quartzitos hematíticos bandados predominantes; intercalações de "Filito hematítico"

Unidade Moscovita-Xistos

Moscovita-xistos ricos em turmalina e magnetita; intercalações de "Filito hematítico"

ARQUEANO

Granitóide Borrachudos: "Augen"-gnaisse com megacristais de feldspato mesoperitítico; intercalados milonitos-xistos (m)

Complexo Gnáissico-Migmatítico: Domínio I - Gnaisses ortoderivados e (u) onde ultramilonitizados

Domínio II - Migmatitos estromáticos predominantes e (u) onde ultramilonitizados

SUPERGRUPO MINAS

Grupo Piracicaba: quartzitos, xistos

Grupo Itabira: itabirito, metadolomito alterado

Grupo Carajá: quartzitos, xistos

Unidade de Xistos Verdes

* Na região de Itabira, segundo Durr e Barbosa (1962) e Schorsch (1973)

Diss. Mestrado do Geólogo M.L.V. Guimarães

Orientador: Prof. Dr. J. Hans D. Schorsch

D. M. P. - I. G. - USP - 1992

Auxílio: I. G. - USP e FAPESP

MAPA DE AFLORAMENTOS DA REGIÃO ITABIRA—MORRO DO PILAR*MG

GEÓLOGO: MARCELO LOPES VIDIGAL GUIMARÃES

Escala 1:100 000
0 1 2 3 4
Quilômetros

LEGENDA

AFLORAMENTOS

- M90 - DESCRIÇÃO DE CAMPO
- M113 - ESTUDO PETROGRÁFICO
- M79 - ESTUDO PETROGRÁFICO E GEOQUÍMICO
- ESTRADAS

Declinação Magnética
Média Aproximada
Ano 1965

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

- 1- Conceição do Mato Dentro
- 2- L. Santa
- 3- Morro do Pilar
- 4- S. Maria de Itabira
- 5- Itabira
- 6- João Monlevade
- 7- Belo Horizonte