

KOMATIITOS DE MINAS GERAIS

Alfonso Schrank* – IG-UNICAMP – Campinas
 Atahualpa Valença Padilha* – IGA – Belo Horizonte
 Susanna Sichel – LAGEMAR – UFRJ – Rio de Janeiro
 Gergely Julio Andrés Szabó* – IG – USP – São Paulo
 * Guias

ABSTRACT

The Archean greenstone belts of Minas Gerais State are embodied in granite-gneissic terranes that build up the substratum of all Proterozoic and Paleozoic basins. In this class are included, among others, the São Francisco Craton, the Serra do Espinhaço basement and the Guaxupé Massif. The small Piumhi Massif, isolated to the west of São Francisco Craton by Brasilia Geosyncline meta-sediments, is also interpreted as part of this substratum.

Some of these greenstone belts contain volcanic rocks of komatiite affinity, showing original texture and structures at times very well preserved, and metamorphosed in the greenschist and amphibolite facies. Tholeiitic and calc-alcaline lavas are sometimes associated to the komatiites.

The komatiite outcrops to be visited during the field excursion belong to the following greenstone belts:

- Rio das Velhas in the Iron-Ore Quadrangle (Córrego Quebra Osso, Córrego do Boiadeiro and Congonhas);
- Fortaleza de Minas-Alpinópolis;
- Piumhi.

I. INTRODUÇÃO

Os Cinturões de Rochas Verdes Arqueanos (CRVA), em Minas Gerais, são imersos em terrenos granito-gnaissico-migmatíticos que constituem, em conjunto, o substrato de bacias proterozoicas a paleozoicas. Nessa categoria se incluem, entre outros, o Cratôn do São Francisco, o embasamento da Serra do Espinhaço e o Maciço de Guaxupé. O pequeno Maciço de Piumhi, ilhado a oeste do Cratôn do São Francisco por meta-sedimentos do Geossinclinal Brasília, tem sido também interpretado como parte desse substrato (Figura 1).

Em alguns destes CRVA tem sido encontradas rochas vulcânicas de afinidade komatiítica, associadas ou não a lavas toleííticas e calco-alcalinas, com texturas e estruturas originais por vezes, muito bem preservadas, e metamorfisadas nos facies dos xistos verdes a anfibolito. Estes CRVA compreendem: (a) o Cinturão Rio das Velhas, onde komatiitos tem sido descritos na região do Córrego Quebra Osso* (Schorscher, 1978; Sichel, 1983; Sichel e Valença, 1983; Sichel e Esperança, 1983), na região do Córrego do Boiadeiro (Padilha et al, 1983, 1984) e na região de Congonhas (Schrank, 1984), constituindo provavelmente afloramentos distintos de uma mesma unidade estratigráfica situada

* Já em 1915, Harder e Chamberlain descreviam nesse local "rochas eruptivas serpentinisadas", atualmente identificadas como Komatiitos. (cf. Sichel e Valença, 1983).

na base do Super Grupo Rio das Velhas; (b) o Cinturão de Fortaleza de Minas, - Alpinópolis (Teixeira, 1978; Teixeira e Danni, 1979 a e b; Schmidt, 1983; Choudhuri et al, 1983); e (c) o Cinturão de Piumhi (Schrank, 1979 e 1982; Fritzsons et al, 1980; Schrank e Brousse, 1980; Jahn e Schrank, 1983).

No mundo, os komatiitos foram reconhecidos pela primeira vez por Viljoen e Viljoen (1969) entre as rochas vulcânicas arqueanas da Formação Komati em Barberton Mountainland (Swazilandia). Mais tarde, ocorrências de komatiitos foram reportadas na Austrália (Nesbitt, 1971; Willians, 1972; Nesbitt e Sun, 1976; Sun e Nesbitt, 1978), Canadá (Pyke et al, 1973; Arndt et al, 1977), Zimbabwe (Bickle et al, 1975; Nesbitt et al, 1977; Hawkesworth and O'Nions, 1977), Finlândia Mutanen, 1976; Blais et al, 1978; Jahn et al, 1980), Índia (Swami-Nath et al, 1976; Naqvi et al, 1978), Cape Smith Province, Canadá (Schwarz e Fugiwara, 1977; Francis et al, 1981), Sahara Central (Chayka, 1977), Península de Kola, URSS (Suslova, 1977), Gorgona Island, Colômbia (Gansser et al, 1979; Echeverria, 1980; Dietrich et al, 1981).

No Brasil, ocorrências de komatiitos de idade pré-cambriana, tem sido descritas ainda, no Cinturão de Crixás (GO) (Teixeira et al, 1981).

Na sua definição original, Viljoen e Viljoen (1969), propuseram a denominação de komatiitos (do Rio Komati, Swazilândia), criando uma nova classe de rochas ígneas feita de lavas peridotíticas extrusivas. As características químicas que esses autores usaram para distinguir os komatiitos de outras classes de rochas ultramáficas incluíam: $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 1$; baixos teores em alcalinos, razões Fe/Mg elevadas. Brooks e Hart (1974), após terem feito uma comparação com mais de 20.000 análises de outras rochas magnesianas, formularam os seguintes parâmetros característicos para aqueles komatiitos:

$$\text{Mg} > 9\%, \text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 1, \text{TiO}_2 < 0,9\% \text{ e } \text{K}_2\text{O} < 0,9\%.$$

Entretanto, à medida que novas ocorrências de komatiitos foram sendo descobertas, verificou-se que tais parâmetros não caracterizavam todos os komatiitos (ver Nesbitt et al, 1979 para uma revisão); assim sendo, em 1980, durante a conferência de Penrose (Canadá), optou-se por definir um komatiito simplesmente como uma rocha vulcânica ultramáfica com ao menos 18% de MgO (a seco) (ver Arndt e Brooks, 1980). A origem vulcânica pode ser indicada por: juntas poliedrinas, textura spinifex, almofadas, estruturas de fragmentação (tufos e brechas), texturas de resfriamento, vidro. Enquanto a composição ultramáfica pode ser indicada por: predominância de olivina e piroxênio em matriz vítreia, $\text{MgO} > 18\%$ (a seco), 20 a 30% de olivina modal, 15 a 30% de olivina normativa e 65 a 70% de minerais maficos normativos (cf. Arndt e Nesbitt, 1982).

II. REGIÃO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

III.1. CONTEXTO REGIONAL

O Quadrilátero Ferrífero corresponde a uma área de cerca de 7.000 Km² situada na região central de Minas Gerais, Brasil, com seu centro situando-se aproximadamente no ponto de coordenadas 20°15' lat. S e 43°30' long.W (Fig. 1).

Nos últimos três séculos esta região tem sido objeto de exploração de seus recursos minerais. Inicialmente foi o ouro e mais recentemente o ferro, o manganês e a bauxita.

Esta é uma das regiões, em média, mais elevadas do Brasil e constitui-se no divisor de águas dos rios Doce e São Francisco. Seus cursos d'água são muito encaixados e o desnível máximo é da ordem dos 1.400m. Os ciclos erosivos, que sucessivamente esculpiram seu relevo, encontram-se aí representados, sendo que o mais antigo deles remonta ao Mesozoico médio (Superfície Pós-Gondwana). A importância destas superfícies é ressaltada pela constatação do desenvolvimento de certos depósitos minerais supérgenicos a elas associados.

As sequências supracrustais desta região estão agrupa-

das em três grandes unidades: uma sequência vulcânico-sedimentar arqueozóica (cinturão de rochas verdes) - o Supergrupo Rio das Velhas (Dorr et alii, 1957; Loczy & Ladeira, 1976; Ladeira et alii, 1983); uma sequência essencialmente metassedimentar proterozoica inferior - o Supergrupo Minas (Harder & Chamberlin, 1915); e uma sequência metassedimentar, com idade incerta, aparentemente pós-Minas - o Grupo Itacolomi (Harder & Chamberlin, 1915); Guimarães, 1931).

O Supergrupo Rio das Velhas foi dividido por Dorr et alii (1957) e Dorr (1969) em dois Grupos: um estratigraficamente inferior, de natureza vulcânico-sedimentar, o Grupo Nova Lima; e uma superior, detritico, o Grupo Maquiné.

Recentemente, Ladeira (1980 a, b, c; 1981 a, b; 1982) e Ladeira et alii (1983 a, b) propuseram subdividir o Grupo Nova Lima nas seguintes grandes unidades, a saber, da base para o topo:

- 1) uma Unidade Metavulcânica, constituída por derrames ultramáfico-máficos e associações felsicas;
- 2) uma Unidade Metassedimentar Química;
- 3) uma Unidade Superior Clástica.

Esta "Unidade Metavulcânica", segundo Ladeira et alii, (1983 b), é constituída por serpentinitos, esteatitos, talco-xistos, anfibolitos, anfibólio-xistos, metabasaltos, meta-aglomerados e metatufo. Estas rochas, em parte, mostram composição komatiítica e, em vários locais, estruturas que indicam origem extrusiva-spinifex, almofadas, juntas poliedrinas, etc. (Ladeira et alii, 1983 a, b; Padilha et alii, 1983).

A base desta unidade é ultramáfica, predominantemente; sua porção intermediária é essencialmente máfica; enquanto o topo é constituído por piroclásticas de caráter desde máfico até felsico, principalmente.

Padilha et alii (1983), individualizaram uma sequência ultramáfica-máfica komatiítica, basal, metamorfizada no fácies xisto verde, no núcleo de uma estrutura anticlinal na região do córrego do Boia-deiro e no rio do Peixe (Fig. 3). A esta sequência sugere-se a denominação Formação Córrego dos Boia-deiros, no âmbito da Unidade Metavulcânica de Ladeira et alii (1983 a, b). Esta formação é constituída, da base para o topo, por:

- 1) derrames maciços e estratificados, e possivelmente soleiras, de komatiitos mostrando estruturas em almofadas juntas poliedrinas e spinifex;
- 2) derrames maciços, almofadados e estratificados de basaltos komatiitos, com spinifex, variolas e esferulitos (?);
- 3) tufos, tufos lapilíticos e aglomerados vulcânicos de caráter básico komatiítico.

Estas rochas são metamorfoseadas hoje em serpentinitos, tremolitos, esteatitos, actinolítitos, tremolita-actinolita-xistos e talco-xistos.

Em posição estratigraficamente superior a estas rochas, ocorrem metavulcânicas de caráter básico e intermediário, cujo detalhamento não foi possível, ainda, devido ao alto grau de intemperismo.

A Unidade Metassedimentar Química, de Ladeira et alii, (1983 a, b), é composta por xistos carbonáticos, meta-cherts, vários tipos de filitos e várias camadas de formação ferrífera bandada. Ladeira (1980) propôs a divisão desta unidade, principalmente no Distrito Aurífero de Nova Lima e Raposos, em suas subunidades: a Formação Lapa Seca e a Formação Raposos. A Formação Lapa Seca comprehende uma rocha, xistosa ou não, de composição quartzo-carbonático ferruginosa (com ankerita ou dolomita ferrosa), conglomerados intraformacionais, carbonáticos, cherts conglomeráticos, cherts, filitos. A Formação Raposos é constituída essencialmente por formação ferrífera bandada tipo Algoma, com quatro fácies: carbonático, sulfetado, silicático e óxido, que transicionaram entre si tanto vertical como lateralmente; mas também ocorrem xistos tufáceos e xistos grafíticos.

A Unidade Clástica Metassedimentar é composta por quartzo-xistos às vezes algo carbonáticos, quartzo filitos, quartzitos

puros e raros metaconglomerados com seixos de quartzo, quartzitos e litologias anteriores.

Sobrepondo-se ao Grupo Nova Lima com contato localmente grandacional, localmente discordante, ocorre o Grupo Maquiné, uma sequência molássica, regressiva, subdividida em suas formações, inicialmente apenas na área-tipo do vale do rio das Velhas (Dorr, 1969) e posteriormente reconhecida no platô do Capanema e encosta sul do vale do rio Conceição (Padilha et alii, 1982) - a Formação Palmital, inferior, e Formação Casa Forte, superior. A Formação Palmital é composta predominantemente de filito, quartzo-filito, clorita-sericita-quartzo-xisto, e acunha-se na direção sudeste. A Formação Casa Forte é formada por protoquartzitos, grit e conglomerado caracteristicamente portadores de cloritóide; esta unidade, no sentido sudeste, entra em contato direto, concordante, com o Grupo Nova Lima. O contato entre as duas formações do Grupo Maquiné é intergradacional. No extremo leste do Quadrilátero Ferrífero foram reconhecidas litologias alocadas ao Grupo Maquiné, mas não foram subdivididas.

O Supergrupo Rio das Velhas deve ter uma espessura estratigráfica mínima em torno de 600m, embora medidas precisas não tenham ainda sido possíveis.

Superpondo-se ao Supergrupo Rio das Velhas, ora em contato com o Grupo Maquiné, ora com o Grupo Nova Lima, ocorrem as unidades basais do Supergrupo Minas. Dorr (1969) coloca o Grupo Tamanduá no Supergrupo Minas, dividido em uma unidade quartzítica basal - a Formação Cambotas, e uma unidade filítica sem denominação formal, superior, sobrepondo-se em discordância angular ao Grupo Maquiné na região da Serra do Caraça. No restante do Quadrilátero Ferrífero, a unidade basal do Supergrupo Minas que se sobrepõe em discordância angular às unidades do Supergrupo Rio das Velhas é a Formação Moeda, do Grupo Caraça.

Nos trabalhos de integração da Folha Acuruí, esc. 1:50.000, Padilha et alii (1982) demonstraram que há homotaxialidade e continuidade física, reconhecendo-se mudança lateral de fácies, entre os quartzitos e conglomerados da Formação Camotas/Grupo Tamanduá e as mesmas litologias da Formação Moeda/Grupo Caraça. Assim, sugere-se neste trabalho a manutenção da conceituação de Harder & Chamberlin (1915), quanto à base do Supergrupo Minas, e a manutenção da serra do Caraça como "locus tipicus" do Grupo Caraça.

Assim, o Supergrupo Minas, na área do Quadrilátero, é subdividido em quatro grupos - Grupo Caraça, Grupo Itabira, Grupo Piracicaba e Grupo Sabará.

O Grupo Caraça é constituído pelas Formações Moeda e Batatal. A Formação Moeda varia muito, mas sistematicamente, tanto em litologia quanto em espessura. Nos extremos nordeste, norte e oeste do Quadrilátero Ferrífero possui espessuras da ordem de 100m e é constituída por quartzito e quartzito sericítico. Em sua porção centro-oeste e centro-leste (sinclinais Gandarela, Moeda e Serra do Caraça) comprehende uma sequência de conglomerado, grite, protoquartzito, ortoquartzito e quartzo-filito, estes em corpos lentiformes, com até 1000m de espessura. Em sua área de ocorrência sul (sinclinal de Dom Bosco e a região de Ouro Preto e Ouro Branco) a litologia predominante são ortoquartzitos e quartzitos finos micáceos. É essencialmente uma unidade transgressiva, representando três fácies sedimentares distintos, distribuídos hoje de norte e nordeste para sul e sudeste - fácies continental, costeiro, estuarino e epinerítico a nerítico. Concordantemente, a Formação Batatal superpõe-se à unidade anterior. É formada consistentemente por um filito cinza, com uma espessura máxima de 100m.

Em vários locais o contato entre estas duas formações é intergradacional.

O Grupo Itabira sobrepõe-se concordantemente ao Grupo Caraça e é constituído por duas formações intergradacionais: a Formação Cauê e a Formação Ganderela. A Formação Cauê é composta por formação ferrífera de fácies óxido - o itabirito, onde ocorrem as concentrações de hematita, e forneceu o adjetivo "ferrífero" para esta região. Além da formação ferrífera, encontra-se filito, clorita xisto e dolomito fer-

ruginoso. A Formação Gandarela é constituída por dolomito, mármore calcítico, filito carbonático e camadas de itabirito mais ou menos dolomítico. A Formação Cauê tem uma espessura média de 200m, e a Formação Gandarela deve ter em média 300m. O ambiente de deposição desta unidade é de plataforma estável.

O Grupo Piracicaba depositou-se sobre o Grupo Itabira, em discordância angular no oeste do Quadrilátero Ferrífero, e apresenta um contato gradacional a leste. Este Grupo foi dividido em cinco formações. A inferior, a Formação Cercadinho, distribuída e aflorante em toda esta região, é composta por quartzito ferruginoso, grit e filito, e apresenta uma espessura máxima de cerca de 400 metros. A Formação Fecho do Funil sobrepõe-se concordante e gradacionalmente à Formação Cercadinho e é composta de dolomito silicoso, filito dolomítico e quartzo filito. Sua espessura máxima é de cerca de 410m, e acunha-se no sentido de nordeste e leste. Em muitas das exposições destas duas primeiras formações há uma evidente passagem lateral entre elas, o que levou Barbosa (1979) a criar a denominação Subgrupo Cercadinho-Fecho do Funil. A Formação Taboões sobrepõe-se à Formação Fecho do Funil, com contato gradacional. É constituída por um ortoquartzito que atinge uma espessura máxima de 120m. Esta unidade é encontrada apenas na parte oeste e noroeste da região e acunha-se para sul e leste. É concordante e intergradacional com a Formação Barreiro sobrejacente, composta de filito, filito grafítico e filito carbonáceo, com espessura máxima de cerca de 120m. A Formação Barreiro acunha-se no sentido de oeste, ou foi erodida nesta área, sendo encontrada principalmente na parte centro-norte, central e leste. Barbosa (1979) sugere, pelos mesmos motivos apresentados para as duas primeiras formações deste grupo, a criação de um subgrupo Taboões Barreiro. Todas as formações do Grupo Piracicaba foram depositadas em condições de plataforma estável.

Ao final de sedimentação Barreiro houve uma brusca e profunda mudança no ambiente de sedimentação do Geossinclinal Minas. Apesar de ressaltar este fato, Dorr (1969) considera a sequência tipicamente eugeossinclinal que se segue à Formação Barreiro como uma formação mais no topo do Grupo Piracicaba - a Formação Sabará. No entanto, a variação profunda no ambiente de sedimentação e a discordância erosiva encontrada a sul, oeste e leste do Quadrilátero Ferrífero tornam lícito considerar esta sequência eugeossinclinal, composta por até 3.500m de grauvacas, clorita-xistos, clorita-sericita-xistos, filitos, tilóides e rochas tufáceas, como uma unidade litoestratigráfica independente do Grupo Piracicaba e de categoria equivalente - o Grupo Sabará. É provável que sua área de exposição fosse outrora mais extensa, tendo sido removida pela erosão em muitas partes.

O Grupo Itacolomi sobrepõe-se ao Supergrupo Minas com ligeira discordância angular, mas com profunda discordância erosiva (Dorr, 1969). É composto por grit, protoquartzito, quartzo-filito e conglomerados. Dorr (1969) o considera uma sedimentação epinerítica a costeira, cuja espessura total seria da ordem de 2.000m; no entanto, seu topo está truncado por uma superfície de erosão.

A infra-estrutura da região ocupada pelo Quadrilátero Ferrífero é constituída por um embasamento granito-gnáissico-migmatítico arqueozóico, remobilizado nas diversas fases tectono-termais a que foi submetida a sequência rochosa supracrustal arqueozóica agrupada nas unidades litoestratigráficas anteriormente descritas.

Ladeira e Viveiros (1984) sintetizaram os conhecimentos sobre a geologia estrutural do Quadrilátero Ferrífero, tendo reconhecido seis fases deformacionais que afetaram as rochas supracrustais metamórficas da região.

A fase deformacional mais antiga, F_1 , foi encontrada apenas nas rochas do Supergrupo Rio das Velhas, e produziram dobras isoclinais recumbentes apertadas D_1 , com uma foliação plano-axial $S_1//S_0$, bem como transposição e empurrões. Supõe-se que o cimento original das charneiras D_1 era para $S60^{\circ}E$, e a vergência correspondente era de SW para NE.

A fase de deformações mais antiga que atinge o Supergrupo Minas e o Grupo Itacolomi é denominada F_2 do Quadrilátero Ferri-

fero. Esta fase tem feições marcantes, apesar de ter sido fortemente deformada pelos eventos posteriores. A fase F₂ também é caracterizada por dobras isoclinais recumbentes apertadas D₂, com uma foliação planoaixial S₂, cujas charneiras, assim como os "mullions" associados, tinham uma direção geral E-W; também acompanhadas por empurrões generalizados e transposição. A vergência original foi, provavelmente, de sul para norte.

As fases F₃ e F₄ produziram dobras assimétricas aper-tadas D₃ e D₄ e "mullions", coaxialmente às dobras D₂. As foliações S₃ e S₄, plano axiais, provocam a geração de conspícuas lineações em S₁ e S₂, as quais paralelizam as charneiras das dobras D₂, D₃ e D₄. Podem haver tranposição, cisalhamento e empurrões localizadamente. A vergência também se deu de sul para norte.

A fase F₅ gerou dobras abertas, "en chevron" e "kinks", com as charneiras das dobras D₅ quase ortogonais às fases anteriores, com direção NNE, e originou uma crenulação generalizada e uma lineação L₅ paralela às charneiras D₅.

A última fase deformativa F₆ é de natureza rúptil e provocou fraturamento, formação de juntas, falhas normais e inversas, e o soerguimento de todas as rochas pré-cambrianas da região.

Os domos granito-gnáissicos foram ativos principalmente durante as fases de deformação F₃, F₄ e F₅, o que contribuiu para aumentar o ângulo de cimento de todas as lineações de direção E-W para valores da ordem de 45°.

Em termos prospectivos, o Supergrupo Rio das Velhas - um típico "greenstone belt", - além das já conhecidas reservas de ouro, apresenta, em suas unidades ultramáficas-máficas basais, um típico ambiente para ocorrência de sulfetos maciços. O Grupo Caraça, do Supergrupo Minas, apresenta em seus metaconglomerados basais uma já diagnosticada mineralização de ouro e urânio, em paleocanais. No andar médio do Supergrupo Minas, a sedimentação química do Grupo Itabirá fornece a maior concentração de recursos minerais destas supracrustais: minério de ferro, minério de manganês, bauxita, ouro, pedra para construção e água subterrânea. As sequências dos Grupos Piracicaba, Sabará e Itacolomi não apresentaram, até o momento, nenhum controle de mineralização importante.

II.2. REGIÃO DO CÓRREGO QUEBRA OSSO

O Grupo Quebra Osso representa a unidade inferior do Greenstone Belt Rio das Velhas (Schorscher, 1978). Esta sequência komatiítica faz contato inferior com o embasamento composto por granitos e gnaisses migmatizados, ao logo de uma falha vertical com considerável milonitização das rochas graníticas (Fig. 2). O contato da sequência komatiítica com o Grupo Nova Lima é gradativo, representado por uma faixa com largura de até 300 metros. Esta faixa é caracterizada pela ocorrência dos primeiros metassedimentos "máficos", representantes do Grupo Nova Lima, intercalados na parte superior da sequência komatiítica que, daí por diante, passam a predominar, com raras rochas ultramáficas intercaladas no Grupo Nova Lima.

A espessura máxima da sequência komatiítica do Quebra Osso é estimada em 800 metros.

Petrografia

As rochas komatiíticas do Grupo Quebra Osso (KQO) foram divididas de acordo com suas características de campo em três grupos principais e um quarto de pequena extensão lateral representado por metassedimentos ultramáficos. Ainda ocorrem nesta sequência komatiítica, raras formações ferríferas tipo Algoma.

- Grupo I - rochas preservando relictos de feições extrusivas (textura spinifex, tufos e brechas vulcânicas, pillows).
- Grupo II - rochas com todas estruturas obliteradas pelo tectonismo.
- Grupo III - cumulados e lava maciça.
- Grupo IV - metassedimentos ultramáficos.

No Grupo I, a serpentina é pseudomorfa da olivina e de piroxênio formando cumulus e textura spinifex numa matriz cloritizada. A magnetita primária é o mineral acessório principal e vidro em processo de devitrificação é presente em algumas amostras. Veios de crisotila são comuns.

As rochas do Grupo II são representadas por clorita-talco-serpentinita xisto, clorita xisto e anfibólio-biotita xisto. Estas rochas contém quantidades variadas de talco (clorita, clinoclorita ou perminita), serpentina (antigorita e crisolita) e tremolita - actinolita. Acessoriamente ocorrem magnetita primária (?), ilmenita, carbonatos, esfeno, epidoto, apatita, biotita e pirita. Cristais de turmalina, chegando a 5cm de comprimento, ocorrem em algumas áreas.

O Grupo III é formado por rochas equigranulares grosseiras (> 2mm), são cumulados contendo olivina, e espinélio cromita-magnetita.

As lavas maciças são rochas fracamente ou não xistosas compostas por clorita, serpentina, talco e tremolita. Magnetita e dolomita são os acessórios comuns. Os veios de crisotila são constantes. A interpretação destas rochas como lava maciça é baseada na existência de feições sugerindo "pillows" ou juntas poligonais. De modo geral estas rochas tem um aspecto muito homogêneo.

O Grupo IV - rochas afanítica, caracterizada por uma matriz clorítica, com fenocristais orientados de magnetita e ilmenita. Lâminas de espessuras variáveis (centimétricas e milimétricas), de coloração verde e marrom-esverdeada, intercalam-se subparalelamente. Fraturas conchoidais são feições típicas em afloramento.

Geoquímica

As análises químicas de elementos maiores, menores e traços dos komatiitos estão representados nas Tabelas I e II, e são caracterizadas por conter $MgO > 26\%$ recalcadas e base anídrica, 45% de olivina normativa, 70% de maficos normativos.

O baixo conteúdo de Ti e alcalis assim como o alto conteúdo de Mg, Ni e Cr indicam uma fonte peridotítica para os komatiitos do Quebra Osso (KQO). Entretanto, convém ressaltar que ainda não foram efetuadas outras análises químicas que poderiam ou não demonstrar a existência de basalto komatiítico nesta área (KQO). A razão Ti/Zr é condritica e consistente com valores obtidos para outros Greenstones Belts Arqueanos (Sun et al, 1979) e a razão TiO_2/P_2O_5 é bem correlacionada com os valores do manto terrestre (Sun and Nesbitt, 1977). Em contraste as razões Ti/Y e Zr/Y diferem significativamente dos valores estimados para condritos. O Y é imóvel durante a alteração dos komatiitos (Ludden and Gélinas, 1982) e sugerem que algumas amostras do KQO foram provavelmente contaminadas por Y durante um episódio tardio de alteração hidrotermal (turmalinização) (Sichel and Esperança, 1983).

Outras discrepâncias observadas nos KQO é a variação significativa da razão CaO/Al_2O_3 e o alto conteúdo de SiO_2 comparados a komatiitos de outras localidades (Nesbitt et al, 1979). O valor anômalo de SiO_2 nestas rochas pode ser atribuído a contaminação com as rochas do Complexo Migmatítico. O maior conteúdo de SiO_2 é observado em uma lente ultramáfica contida no Complexo Migmatítico (amostra 13).

A variação da razão CaO/Al_2O_3 entre os Grupos I, II e III, é considerável. No Grupo I $CaO/Al_2O_3 = 1$ enquanto que esta mesma razão nos Grupos II e III é aproximadamente 0.3. Estes valores sugerem que o fator regulador da razão CaO/Al_2O_3 é a mobilidade de CaO em condições do metamorfismo que as rochas dos Grupos II e III.

O TiO_2 provavelmente se comportou como um elemento incompatível para grandes frações de fusões (Nesbitt and Sun, 1976). As rochas do KQO mostram uma correlação linear entre Al_2O_3 e TiO_2 ($Al_2O_3/TiO_2 = 40$). Entretanto a razão CaO vs TiO_2 é mal definida para valores baixos de CaO nos KQO. É provável que parte do CaO foi perdido durante a história dos KQO possivelmente na sua alteração. Os valores elevados de La, Ce e Y em algumas amostras indicam que o KQO foi um sistema aberto para alguns elementos (Sichel and Esperança, 1983).

Um modelo de fusão de um peridotito rico em ortopiroxênio (+ granada) para os KQO (Sichel and Esperança, 1983) pode ser explicado nas seguintes características químicas observadas:

- a) Correlação de Al e Mg na razão 1:11.
- b) Alto conteúdo de Ni, Cr na fusão desde que $K_{Cr,Ni}^{op-liq}$ é usualmente mais baixo que para olivinas em alta temperaturá (Irving, 1977).
- c) Alto conteúdo de SiO₂ para os KQO em relação a outros komatiitos.
- d) Os baixos conteúdos dos elementos incompatíveis de Ti e Zr.

Finalmente, as diferenças na composição química dos KQO comparadas com outras localidades poderiam ser atribuídas a pequenas frações de fusão parcial de um granada lherzolito ou a largas frações de fusão parcial de um manto rico em ortopiroxênio e granada (Sichel and Esperança, no prelo).

II.3. REGIÃO DO CÓRREGO DOS BOIADEIROS

Esta região foi estudada inicialmente por Gair (1962, p.A44-A47) e Pomerene (1964, p.D34 e p.D74-D79), quando do mapeamento geológico, escala 1:25.000, encetado pela equipe conjunta DNPM-USGS no Quadrilátero Ferrífero. Estes autores, bem como Dorr (1969) e Herz (1970; 1978), consideraram estas rochas como intrusivas no Grupo Nova Lima, sob forma de soleiras e diques.

Durante os trabalhos de reavaliação das informações sobre a geologia do Quadrilátero Ferrífero, desenvolvidos pelo Instituto de Geociências Aplicadas, verificou-se que a composição química destas rochas, bem como certas feições macroscópicas e microscópicas indicavam um caráter komatiítico e extrusivo para elas.

Assim, reconheceu-se que esta unidade litológica representa uma sequência vulcânica komatiítica na base do Grupo Nova Lima, do Super grupo Rio das Velhas, metamorfoseada no fácies xistos verde/isógrada da biotita, com termos desde ultramáficos até máficos, caracterizando melhor ainda o "greenstone belt" Rio das Velhas.

As rochas identificadas até o momento são os correspondentes metamórficos de komatiitos: serpentinitos, tremolitos, antofilita-tremolita-xistos, tremolita-actinolita-xistos e esteatitos; de badaltos komatiíticos: actinolítitos, actinolita-clorita-xistos, talco-clorita-xistos, etc.; e de piroclásticas máficas: actinolita-xistos. A par do quimismo coerente com a suíte komatiítica, as feições macro e microscópicas relícticas, tais como cumulados, pórfiros, spinifex, almofadas, juntas poliédricas, estruturas orbiculoidais, esferulitos e variolas, indicam um caráter extrusivo para a maior parte do pacote rochoso. As rochas ultramáficas predominam amplamente na base da sequência, as máficas na parte intermediária e as piroclásticas no topo.

Na Tabela III e Figuras 7, 8 e 9 encontram-se lançadas análises de algumas amostras escolhidas.

Esta sequência está aflorando no núcleo de uma estrutura anticlinorial com eixo aproximado nor-nordeste sendo sobreposta em aparente concordância por outras litologias do Grupo Nova Lima - metavulcânicas, metapelitos, filito grafítoso e formação ferrífera bandada tipo Algoma, prováveis componentes da Formação Raposos.

Na oficina da EXTRAMIL (Fig. 3) há uma secção completa da derrames estruturais com cumulados basais, zonas com komatiitos encaroçados, com spinifex placoso (olivina?) e em ripas (piroxênio?). No leito do córrego dos Boiadeiros (Fig.3) encontram-se derrames estruturados maciços, com lavas em almofadas e estruturas orbiculoidais. A melhor secção dos basaltos komatiíticos localiza-se na região do córrego Mostarda - Rio do Peixe (Fig.3), em um corte abandonado da Ferrovia do Aço, onde se tem derrames maciços, com lavas em almofadas, com esferulitos e variolas, com spinifex, bem como tufo e aglomerados (?). Estas três localidades compõe uma secção - tipo desta unidade.

Adicionando-se, às características descritivas e genéticas apresentadas acima, a mapeabilidade desta unidade torna-se lícita

a conceituação de uma nova unidade litoestratigráfica bem definida - a Formação Córrego dos Boiadeiros, na base do Grupo Nova Lima / Supergrupo Rio das Velhas.

II.4. REGIÃO DE CONGONHAS

O distrito de Congonhas localiza-se no canto sudoeste do Quadrilátero Ferrífero e foi cartografado, com detalhes (1:25.000), por P.W. Guild (1960). As litologias pertencentes ao Supergrupo Rio das Velhas são limitadas ao Sul pelo batólito granodiorítico de Jaceaba e a norte por rochas do Supergroso Minas, através da falha do Engênhão. Tais litologias foram englobadas pelo autor no "pacote de xistos verdes" (Série Minas) que posteriormente Dorr (1969) incluiu no Grupo Nova Lima. Esse pacote seria derivado, de acordo com Guild (op.cit.), de diversos tipos de sedimentos, de material piroclástico e de lençóis de lava, afetados não só por metamorfismo regional, mas também térmico. Rochas ultrabásicas (esteatitos, serpentinitos e talco-xistos) ocorrem nos arredores de Congonhas (ver Fig. 4), em torno de um "stock" granodiorítico, e foram interpretadas por Guild (op. cit.) como "uma soleira injetada concordantemente com o pacote de xistos verdes, deformada e laminada durante a orogênese, que dobrou estas rochas e atravessada por um granodiorito que lhe é posterior (...).

O esteatito constitui a margem entre o granodiorito e os xistos verdes em quase todo o perímetro do stock alongado, que se estende por quase 7 Km, de Congonhas para sudeste, e ocorre também como restos do teto e inclusões xistosas na rocha ácida não laminada. ... Em outras partes, especialmente na zona itabirítica, a nordeste do Rio Maranhão, há numerosas e pequenas lentes, que parecem derrames por serem rigorosamente paralelos à estrutura regional (*), mas sua composição e alguns contatos ramificados indicam origem intrusiva de preferência a extrusiva" (p.66).

Recentemente, entretanto, estruturas vulcânicas, muito bem preservadas, foram encontradas nestas rochas ultrabásicas (cf. Schrank, 1984). Apesar de serem também identificáveis em antigas pedreiras em torno de Congonhas, as exposições mais espetaculares dessas estruturas, que incluem "pillow-lavas", "pillow breccias" e tufo, podem ser observadas na Igreja do Senhor Bom Jesus do Matosinhos, nas pedras talhadas do pátio e dos portais, assim como nas estátuas dos profetas, esculpidas por Antônio Francisco Lisboa - o Aleijadinho.

Os estudos em andamento, petrográficos e geoquímicos, e as características geológicas das rochas ultramáficas de Congonhas, associados com aqueles nas regiões do Córrego Quebra Osso e Córrego do Boiadeiro tendem a demonstrar que o Supergrupo Rio das Velhas contém, na sua base, uma unidade de rochas vulcânicas ultramáficas, de caráter komatiítico, típica de vários outros cinturões de rochas verdes arqueanas no mundo.

III. REGIÃO SUDOESTE DE MINAS GERAIS

III.1. MACIÇO DE PIUMHI

Contexto Geológico

O Maciço de Piumhi é interpretado como uma unidade geotectônica pré-brasiliiana. Se estende, a partir de Piumhi, por 70 Km no sentido S20E, tendo a forma de uma ampulheta com largura máxima de 20 Km. As litologias que o compõem são subdivididas em dois grupos: Inferior ($e \approx 3.000$ m) e Superior ($e \approx 2.000$ m), os quais são separados por uma superfície de discordância (angular e erosiva).

O Grupo Inferior (Fig. 5), tem sido interpretado como parte de um cinturão de rochas verdes arqueanas, embora as datações geocronológicas disponíveis situem-no no proterozóico inferior (1,8 Ga, cf. Jahn e Schrank, 1983). Ele é constituído por duas sequências: Vulcânica e Vulcano-sedimentar.

(* grifo nosso).

A sequência Vulcânica ($e \approx 2.250m$) é formada de meta-vulcanitos komatiíticos, toleiíticos e calco-alcalinos em derrames à textura spinifex, à pillow-lavas, maciços ou compostos; piroclásticos e vulcano-clastitos (tufos, tufitos e cinzas), assim como por meta-sedimentos por vezes intercalados entre derrames sucessivos (grauvacas, siltitos, cherts carbonosos e piritosos).

A Sequência Vulcano-sedimentar ($e \approx 750m$) é composta predominantemente por rochas vulcano-detriticas e subordinadamente por derrames de lavas.

Todas as rochas do Grupo Inferior foram afetadas por um metamorfismo epizonal, sem desenvolvimento contemporâneo de xistosidade. Esse metamorfismo é atribuído à "mise-en-place" de intrusões ácidas sintectônicas.

O magmatismo ácido comprehende dois corpos graníticos (cortejo plutônico) e vários sills, diques e necks (cortejo hipabissal) de riódacitos ou de riolitos pórfiros.

O Grupo Superior, visto como uma bacia sedimentar proterozóica, é composto principalmente de turbiditos. Na sua base, porém, existem rochas pelíticas e carbonatadas (estas com oólitos e stromatólitos) capeadas por quartzitos e brechas sedimentares. Também, no topo dos turbiditos, ocorrem ainda: siltitos carbonosos, conglomerados, níveis ferruginosos e manganesíferos. As rochas magmáticas são aqui pouco frequentes em proporção, estando representadas por intrusões de alcalinitos (gabros e traquitos pórfiros) (1,9 a 0,9 Ga) (Schrank, 1982) e de rochas ultrabásicas (serpentinitos e cromitítitos).

Após a deposição do Grupo Superior, a bacia sofreu uma compressão regional, que desenvolveu estruturas tectônicas típicas de níveis estruturais superficiais (dobras deitadas, nappes de charriage e falhas inversas). Este tectonismo, que é responsável pelas grandes linhas atuais do Maciço, teve vergência dirigida no sentido do Craton do São Francisco (situado a Leste). Também à compressão, parecem estar associadas as intrusões ultrabásicas, assim como, um segundo metamorfismo (dinamoternal-epizonal) que afetou a ambos os grupos, Inferior e Superior.

Síntese Petrográfica.

Os komatiitos de Piumhi constituem derrames de lavas alnofadadas com dezenas a centenas de metros de espessura. Tratam-se de lavas pórfiras que contém em média cerca de 30% de fenocristais ($< 0,5\text{mm}$) de peridotitos substituídos por cloritas. A matriz reticulada é composta em proporções variáveis por talco, cloritas e tremolita. Este anfibolito, frequentemente pseudomorfisa estruturas em "zipper" cu em "pente", e substitui cristalitos paralelos de clinopiroxénios, que preenchem interstícios, entre microlitos de ex-olivinas placoides dispostos aleatoriamente entre os fenocristais. Trata-se da textura micro-spinifex proposta por Echeverria (1980), resultante do resfriamento brusco das lavas no momento da solidificação.

Os basaltos komatiíticos constituem na sua quase totalidade derrames diferenciados, ou compostos, com espessuras que alcançam 80m. Tais derrames, quando em exposições completas, são constituídos a partir do topo por: (a) uma zona com textura spinifex, (b) uma zona foliada com cristais alinhados paralelamente ao derrame, (c) uma zona de cumulados de piroxénios e (d) uma zona de cumulados de olivina. Em geral as zonas "a" e "d" constituem mais de 90% de um derrame, sendo que, suas proporções relativas são variáveis. A zona "a" é basáltica enquanto as outras são ultramáficas a ultrabásicas.

Os basaltos komatiíticos, a textura spinifex, são constituídos por rochas formadas por feixes divergentes, aleatoriamente orientados com tamanhos variando desde 1mm até vários centímetros desde o topo até o centro de um derrame. Seções destes feixes tem formas triangulares a retangulares. Também, por vezes, os feixes são esferolíticos, devido a variações menores na cinética do resfriamento.

Os antigos minerais que constituíram os spinifex são sistematicamente substituídos, no seu interior, por cloritas, e nos seus

bordos por tremolita. Comparando-se essas texturas com rochas melhor preservadas do Cinturão do Abitibi (Canadá) se conclui que, originalmente, a parte interna foi constituida por pigeonita, enquanto a parte externa o era por augita. As seções basais tem contornos típicos de clinopiroxênios. Nos interstícios ocorrem cristalitos em "pluma" substituídos por tremolita (ex-cpx) ou raros cristalitos de albíta (ex-plagioclásios). Por vezes esta matriz é uma massa isotrópica marrom, de composição basáltica. Cristais opacos milimétricos, esqueléticos, correspondem a espinélios cromíferos ou sulfetos.

Misturas entre rochas a textura spinifex na forma de glóbulos, imersos em matriz ultramáfica, foram observados em um dos derrames compostos e podem refletir seja (a) uma reabsorção pelo líquido cumulático do teto do derrame resfriado bruscamente, seja (b) que estes derrames provém de dois líquidos imiscíveis (um basáltico komatiítico, outro komatiítico) que se separam após a "mise en place" do derrame, tendo sido a mistura, localmente preservada.

A passagem entre as zonas a spinifex e lamelar é brusca. A foliação é devida ao alinhamento de fenocristais acumulados. Tais fenocristais de prováveis ortopiroxênios, embora substituídos atualmente por cloritas, conservam caprichosamente as formas esqueléticas, e são imersos em matriz tremolítica contendo "trans" de micro-fenocristais opacos (Cr-espinélios), que alternam-se com os ex-piroxênios.

Seguem-se cumulados constituídos essencialmente de ex-peridotitos em cristais automorfos, pequenos (< 0,5mm) e na grande maioria inteiros, mas podendo ser também esqueléticos. Eles se concentram ligeiramente em direção à base do derrame. Os espaços intercúmulos são preenchidos por cristais em "plumas" de ex-clinopiroxênios, ou então por agregados microgranulares de serpentinas, ou cloritas, e grãos de minerais opacos (Cr-espinélios e sulfetos).

O mecanismo de formação deste tipo de derrame pode ser simples: o líquido inicial, contendo primocristais (fenocristais que iniciaram sua cristalização ao longo do trajeto até a superfície), é derramado sob o lençol d'água. A crosta superficial do derrame é "congelada" formando uma rocha com textura porfirítica e micro-spinifex. O interior do derrame permanece líquido e os primocristais, mais densos, precipitam em direção ao fundo. Com isso a porção superior do derrame, ainda líquida, é apobrecida em cadeias silicáticas (germes de cristalação) e superfícies, a partir das quais a cristalização possa iniciar-se. Com o resfriamento progressivo aparecem os primeiros germes, mas em número reduzido. Esta pobreza em suportes de cristalização faz com que os primeiros esqueletos de cristais a se formarem encontrem poucas barreiras (outros cristais) para o seu desenvolvimento. Tais barreiras são tanto mais espaçadas quanto mais longe se está da superfície do derrame, sendo que, o gradiente do número de germes em função da profundidade é inverso ao de temperatura. Dessa forma os spinifex mais próximos da superfície são menores, mas aumentam de tamanho para baixo. Entretanto, o fenômeno é relativamente rápido e não permite que os esqueletos de cristais se completem. O líquido intersticial é "congelado" na forma de cristalitos e vidro, pois neste ponto, a temperatura de solidificação da rocha já foi ultrapassada.

Mais generalizadamente, este é um fenômeno comum, denominado supersolidificação porém, adquire importância, quando se trata de neso e ino-silicatos, como a olivina e os clino-piroxênios.

Outras rochas, que acompanham os komatiitos e basaltos komatiíticos no Grupo Inferior, são basaltos toleíticos e lavas calco-alcalinas (andesitos e dacitos) em derrames almoafados e maciços, assim como tufos, tuítos, sedimentos imaturos e intrusões ácidas (ver Schrank, 1982 para uma descrição detalhada).

Síntese Geoquímica

Análises químicas selecionadas de elementos maiores de komatiitos e basaltos komatiíticos são apresentados na Tabela IV. Análises suplementares e discussões mais aprofundadas podem ser encontradas em Schrank (1982) e Jahn e Schrank, (1983).

Os komatiitos com texturas micro-spinifex tem teores em

MgO (seco) entre 21,6 e 28,7%. As razões $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (≈ 20) e CaO/TiO_2 (20,8-24,2) são próximas às dos condritos, enquanto as razões $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ variam entre 0,9 e 1,1. Tais características os assemelham aos komatiitos do tipo yilgarn ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 = 21-25$; $\text{CaO}/\text{TiO}_2 \approx 21$; $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 1$) (Nesbitt et al., 1981). As abundâncias em Ni (700 - 1.100 ppm) são comparáveis aos valores reportados para komatiitos com textura spinifex (850-1.900 ppm; Nesbitt e Sun, 1976, Arndt et al., 1977, Nesbitt et al., 1979).

Os basaltos komatiíticos, com texturas spinifex, mostram teores em MgO (seco) entre 9 e 17%. São rochas a olivina (0-11%) ou quartzo (0-15%) normativos. Tem baixos teores em TiO_2 (< 0,7%) e Al_2O_3 (< 13%); relativamente altas abundâncias em Ni e Cr; assim como razões FeO^*/MgO inferiores a 1,4; que os distinguiram dos toleititos mais magnesianos. As razões $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ são próximas dos condritos (23-17), enquanto CaO/TiO_2 é relativamente baixo (10-16).

As distribuições de Terras Raras apresentam enriquecimento em terras raras leves (TRL) e padrões relativamente planos em terras raras pesadas (TRP). De acordo com a classificação tipológica de Jahn e Gruan (1981) pertencem ao Grupo I de komatiitos com $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 1,0 \pm 0,1$. Embora raramente encontrado em rochas arqueanas, de afinidade komatiítica, (eg. Vulcânicas de Negri, Sun e Nesbitt, 1978), o enriquecimento em TRL significa que a fonte mantélica, onde se originaram as rochas de Piumhi, foi também enriquecida, com relação às abundâncias condriticas (cf. Jahn e Schrank, 1983).

A assembléia de rochas que constituem o Grupo Inferior do Maciço de Piumhi é inteiramente comparável com muitos Cinturões de Rochas Verdes Arqueanos no mundo. Os dados geoquímicos existentes, sugerem multiplas e distintas regiões fonte para a assembléia como um todo (cf. Jahn e Schrank, 1983). Estudos químico-estratigráficos demonstram ainda que ciclos compostos por toleititos, basaltos komatiíticos e komatiitos se sucedem na base do Grupo Inferior, mostrando variações progressivas entre si. Tais ciclos devem corresponder a variações na taxa de fusão do manto superior arqueano, onde estas lavas foram originadas (Schrank, 1982).

III.2. REGIÃO DE ALPINÓPOLIS

Os komatiitos que afloram a sul e sudoeste da cidade de Alpinópolis, na porção centro-ocidental da quadricula homônima, fazem parte da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, definida nas proximidades de Fortaleza de Minas por Teixeira (1978). Esta Sequência é constituída de rochas metaultramáticas e metamáficas, às quais se associam metassedimentos, e ocorre na forma de corpos estreitos e alongados, de dimensões entre algumas centenas de metros a vários quilometros, dispostos em faixas de direção N60-70W, em concordância com a estruturação regional, intercalados a gnaisses granodioríticos e migmatitos do Complexo Campos Gerais. Segundo Teixeira (op. cit.), corresponderia às raízes de uma estrutura tipo "greenstone belt". Datações em migmatitos do Complexo Campos Gerais (que seria correlacionável ao Grupo Barbacera) (Morales, et al., 1983), nas proximidades de Fortaleza de Minas indicam idades arqueanas em torno de 2.900 m.a. (Wernick et. al., 1981).

A sul da cidade de Alpinópolis, a Sequência Morro do Ferro aflora nos vales entre a Serra da Ventania, a norte, e a Serra do Dondó (e suas extensões para oeste) a sul. A escarpa da Serra da Ventania é sustentada por quartzitos (sobre os quais foi erigida a cidade de Alpinópolis), e nas suas encostas afloram micaxistos, filitos e filonitos, metacalcários e metagra vacas, todos atribuíveis ao Grupo Araxá. No sopé da Serra, uma falha de empurrão de baixo ângulo (superfície de cavalgamento) define o contato que separa o Grupo Araxá do Complexo Campos Gerais e da Sequência Vulcano-Sedimentar. Na região a sul de Alpinópolis, os filonitos e milonitos deste contato tectônico estão frequentemente cobertos por extensos depósitos de talus da escarpa. As Serras do Dondó e regiões elevadas adjacentes são constituídas principalmente de gnaisses granodioríticos, que afloram também aos pés da Serra da Ventania, ao longo do Córrego Cachoeira, e representam o Complexo Campos Gerais. Os contatos entre os gnaisses e granitóides do Complexo Campos Gerais e as rochas metavulcânicas e metassedimentares da Sequência Morro do

Ferro são, na sua grande maioria, de natureza tectônica, porém localmente estes contatos exibem feições magmáticas-intrusivas, sugerindo a existência de granitóides tardí-tectônicos na região. O esboço geológico simplificado da região de Alpinópolis encontra-se em anexo (fig. 6), e é baseado em dados apresentados por Morales et. al. (1983), modificados por Szabó (dados inéditos). A compartimentação estratigráfica indicada no esboço é a seguinte:

- pEM - Precambriano Médio
 - pEMA - Grupo Araxá
 - q - quartzitos
 - x - micaxistos, filitos calcários
- pEA - Arqueano (?)
 - pEAGn- Complexo Campos Gerais
 - gnaisses granodioríticos e granitóides indiferenciados
 - pEAAmg- Sequência Vulcano-Sedimentar
 - Morro do Ferro
 - metaultramáficas, anfibolitos, quartzitos ferríferos bandados, filitos.

Rochas ora foliadas, ora maciças, com clorita e tremolita em proporções variáveis como constituintes principais, e magnetita, antofilita, talco e serpentina em quantidades subordinadas são as representantes mais comuns dos komatiitos de Alpinópolis, metamorfizados sob condições de fácies xisto verde a anfibolito. Talco xistos são comuns ao longo dos planos de cisalhamento; o talco é nitidamente retrometamórfico nas texturas não foliadas. Serpentinitos s.s. são raros: a serpentina normalmente é de caráter retrometamórfico; carbonato-talco xistos, antofilita-clorita xistos e clorita-serpentina xistos tem ocorrência restrita, e indicam zonas de maior mobilidade química, como nos flancos da megadobra em "V" desenhada por níveis de quartzito ferrífero bandado, a E da confluência do Córrego Cachoeira com o Ribeirão da Conquista. As melhores exposições de rochas metaultramáficas são aquelas entre o Ribeirão da Conquista e o Córrego Sapateiro, a sul da cidade de Alpinópolis (principalmente no leito da estrada para Nova Resende, e nos morros circunvizinhos realçados na topografia suavemente ondulada), e as exposições da Fazenda Gordura e arredores, a sudoeste de Alpinópolis. As rochas metaultramáficas (komatiitos) representam o tipo litológico visivelmente mais abundante nesta área: as demais litologias, a elas associadas, são anfibolitos (metavulcânicas básicas), quartzitos ferríferos bandados (BIF) e metacherts, e metassedimentos clásticos diversos: filitos, meta-arenitos, metagranvacas, etc.

As partes maciças das rochas metaultramáficas ostentam pseudomorfos muito nítidos de textura spinifex. Nestes pseudomorfos, os indivíduos ígneos originais ora são substituídos por um agregado de minerais metamórficos, como no caso da olivina, placóide-esqueletal, mimetizada por um arranjo de cloritas magnesianas finas, com magnetitas nas bordas deste arranjo; ora são substituídos homoaxialmente, como no caso dos clinopiroxênios de aspecto plumoso e esqueletal, onde a tremolita herda até a orientação ótica primária do piroxênio. Seguindo a classificação proposta por Nesbitt (1971), é possível reconhecer dois tipos principais de spinifex em Alpinópolis: a spinifex em placa ("plate spinifez"), na qual placas originalmente de olivina, de extensão centimétrica a decimétrica, ocorrem em conjuntos ("sets") plano-paralelos, e estes conjuntos estão em arranjo triangular entre si; e a spinifex radiada ("radiating spinifex", também citada por "random spinifex" na literatura), na qual plaquetas individualizadas, originalmente constituídas de olivina, de extensão de alguns milímetros a poucos centímetros formam uma malha triangular, em cujos interstícios se alojam pseudomorfos de piroxênios plumosos/esqueletais, que à vista desarmada tem o aspecto de pequenas formas triangulares-poligonais de superfície sedosa nas amostras. Na spinifex em placas, o material entre as placas de olivina (clorita+magnetita) é um agregado fino, de aspecto textural interno caótico de tremolita e clorita com um pouco de magnetita, que representaria o material microcristalino/vitreo inter-placas original, ou é um conjunto de pseudomorfos prismático-aciculares de clinopiroxênio, às vezes com aspecto plumoso, ora oblíquos, ora transversais, ou mesmo subparalelos

às placas de olivina (hoje tremolita e clorita + magnetita, respectivamente). Feições esferoidais-ovaladas, de diâmetro em torno de 0,5-1,0 cm., com estrutura interna concêntrica indicam possíveis estruturas vesiculares. O pseudomorfismo das texturas delicadas dos spinifex indica condições metamórficas que preservaram - pelo menos nas porções não foliadas - domínios químicos pouco perturbados, nos quais a mobilidade dos elementos maiores foi de escala submilmétrica. Com o aumento na intensidade da recristalização metamórfica, os contornos destas texturas tendem a se tornar difusos, e finalmente a desaparecer, dando lugar a um agredado homogêneo de tremolita nematoblástica curta e clorita, com magnetita dispersa entre eles. Microporfiroblastos dispersos de antofilita se desenvolvem cortando os contornos das texturas spinifex e são, em praticamente todas as rochas, o primeiro sintoma de transformações minerais que não respeitam mais os domínios químicos texturais herdados da rochas ígnea. O desenvolvimento da xistosidade oblitera quase que completamente as feições texturais herdadas: a rocha passa a ser um clorita-tremolita xisto de aspectos homogêneo, ou sutilmente bandado. Na Fazenda Gordura, esta transição encontra-se bem registrada: à vista desarmada, é possível reconhecer delgados níveis (espessura em torno de 0,5-1,0 mm.), alternados, de clorita e de tremolita, obliquos à xistosidade, e cortados pela mesma. Ao microscópio, o alinhamento das magnetitas nas bordas dos níveis de clorita indicam o arranjo original das placas de olivina de extensão centimétrica, porém os contornos destes níveis são difusos, e confundem-se com os contornos dos níveis de tremolita. Texturas spinifex preservadas em esteatito, com restos de tremolita-clorita em padrões similares aos anteriormente descritos, e com tremolitas de aspecto preservadas em meio à massa de talco são tipos particulares, pouco comuns, reconhecidos a norte da confluência do Córrego Gordura com o Ribeirão Conquistinha. Em tremolítitos próximos à parte da estrada para Nova Resende sobre o Ribeirão da Conquista, ocorrem feições esferoidais, realçadas na matriz cinza-escuro fina, constituídas de agregados de olivina e ortopiroxênio com lamelas de exsolução, em arranjo granular-piquítico, frequentemente serpentinizados e sistematicamente acompanhadas de espinélio verde. Embora sua origem seja dúbia, estes agregados parecem ser retitos ígneos, com a mineralogia primária de alguma forma poupança (pelo menos parcialmente) na matriz metamórfica.

Segundo a definição proposta pela Penrose Conference - (Arndt e Brooks, 1980), o termo komatiito corresponde simplesmente a "rocha ultramáfica vulcânica". As texturas e associação litológica indicam sem sombra de dúvida que as metaultramáficas de Alpinópolis são de origem vulcânica, e assim vem-se somar às ocorrências de komatiitos com textura spinifex da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, previamente reconhecidas por Teixeira (1978) nas cercanias de Fortaleza de Minas, e às citadas por Schmidt (1983), do Ribeirão dos Munizes, a sul de Fortaleza de Minas (Tabela V). Infelizmente, não se dispõe ainda de dados químicos representativos destas rochas, e o seu estudo encontra-se apenas nos estágios iniciais - espera-se, contudo, suprir esta falta no intervalo de tempo mais curto possível.

IV. COMPARAÇÕES ENTRE KOMATIITOS E ROCHAS ASSOCIADAS DOS CINTURÕES RIO DAS VELHAS, PIUMHI E FORTALEZA DE MINAS/ALPINÓPOLIS.

O Cinturão de Piumhi apresenta gama mais extensa de composição de rochas vulcânicas, que compreende desde komatiitos e basaltos komatiíticos, passando por toleítos primitivos ($\text{FeO}^*/\text{MgO} < 2,5$) até lavas calco-alcalinas, (Fig. 7), um comportamento típico nos CRVA. Embora não hajam ainda dados disponíveis o mesmo deverá ser observado no Cinturão Rio das Velhas (cf. Ladeira 1983 a,b).

No Cinturão de Fortaleza de Minas, lavas felsicas não foram observadas (cf. Schmidt, 1983; Teixeira, 1978; Teixeira e Danni, 1979 a, b). Os komatiitos e basaltos komatiíticos tem comportamento semelhante ao "trend" de Piumhi, embora os basaltos komatiíticos mais primitivos sejam sensivelmente mais enriquecidos em FeO^* e TiO_2 , e exista um "gap" considerável entre basaltos komatiíticos e toleítos. Os toleítos de Fortaleza são comparáveis a toleítos normais (Fig. 7) e aos basaltos de cadeias meso-oceânicas atuais (Fig. 9).

As razões $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Fig. 8) são semelhantes à grande

maioria dos komatiítos (~ 1) em ambos os casos (Piumhi e F. de Minas). É notável que na passagem entre komatiítos e basaltos komatiíticos dos dois cinturões as razões CaO/Al₂O₃ sejam progressivamente inferiores a 1. Visto que as razões Al₂O₃/TiO₂ (Fig. 9) (cf. Schmidt, 1983) permanecem normais (~ 20), esse comportamento pode ser atribuído a características da fonte, ligeiramente apobrecida em CaO.

Nas regiões do Córrego do Boiadeiro e Córrego Quebra Osso (CVRA Rio das Velhas) os komatiitos apresentam comportamento muito semelhantes, inclusive nas características dos cumulados, bastante ricos em MgO que os dos cinturões anteriores. Essa característica se observa também para os basaltos komatiíticos à textura spinifex do Córrego dos Boiadeiros. As razões CaO/Al₂O₃ (~ 1 apenas em algumas das rochas com textura spinifex) tem dispersão acentuada (Fig. 8), fato que é interpretado por Sichel (1983) como resultante de alteração.

Os komatiítos à textura spinifex do Córrego Quebra Osso tem razões Al₂O₃/TiO₂ bastante elevadas (~ 40) (Fig. 9) o que não tem sido previamente encontrado em outros komatiítos. Os demais komatiítos à textura spinifex tem razões Al₂O₃/TiO₂ próximas às dos condritos, sendo portanto comparáveis aos komatiítos do tipo Yilgaarn (21-25; Nesbitt et al., 1981).

V.. PROGRAMA

Dia 5 de novembro de 1984.

- 7:15 - Partida da Excursão do Aeroporto de Confins (Belo Horizonte). Durante o dia, visita a região do Córrego Quebra Osso. (Paradas 1 e 2).
18:00 - Pernoite em Barão de Cocais.

Dia 6 de novembro de 1984.

- 6:30 - Café da manhã.
7:00 - Percurso Barão de Cocais - Córrego do Boiadeiro.
11:00 - Almoço.
13:00 - Afloramentos 3, 4, 5, 6 e 7.
16:00 - Percurso Córrego do Boiadeiro - Congonhas.
17:00 - Adro da Igreja Bom Jesus do Matosinhos (Parada 8).
18:00 - Percurso Congonhas - Conselheiro Lafaiete.
Pernoite em Conselheiro Lafaiete.

Dia 7 de novembro de 1984.

- 6:30 - Café da manhã.
7:00 - Percurso Conselheiro Lafaiete - Piumhi.
12:00 - Almoço
15:00 - Afloramentos 9, 10 e 11.
18:00 - Pernoite em Piumhi.

Dia 8 de novembro de 1984.

- 6:30 - Café da manhã.
7:00 - Afloramentos 12 e 13.
11:00 - Afloramento 14.
12:00 - Almoço
13:00 - Afloramentos 15, 16 e 17.
18:00 - Hotel.

Dia 9 de novembro de 1984

- 6:30 - Café da manhã
7:00 - Percurso Piumhi - Alpinópolis.

- 8:30 - Afloramentos 18 e 19.
 11:30 - Almoço
 12:30 - Percorso Alpinópolis - Belo Horizonte.
 19:00 - Chegada a B.H. (Aeroporto de Confins).

VI. ROTEIRO

PARADA N° 1 - Aspecto geral da Sequência do Córrego Quebra Osso.

Ao fundo tem-se a Serra do Caraça, constituída por quartzitos proterozóicos, cortados por intrusões básicas. No terço inferior da encosta tem-se o contato, discordante, destes quartzitos sobre rochas ultramáficas komatiíticas, do Grupo Quebra Osso. Estas meta-lavas compõe a unidade inferior do cinturão de rochas verdes arqueanas Rio das Velhas, nesta região.

Ao longo do sopé da Serra serpenteia o Córrego Quebra Osso. No extremo sul da mesma, conformando um relêvo em sela, vêm-se à direita, os quartzitos da Serra do Caraça, na parte côncava, as rochas ultramáficas do Grupo Quebra Osso e, em seguida, uma colina composta de quartzitos da Formação Moeda (Grupo Caraça - Supergrupo Minas) e parte do Grupo Itabira.

A sul e sudoeste, no peneplano, dominam o complexo granito-gnaissico-migmatítico que mostra contato tectônico com o Grupo Quebra Osso.

Para norte tem-se a sequência vulcano-sedimentar do Grupo Nova Lima, que recobre os komatiítos em contato gradacional.

PARADA N° 02 - Sequência de derrames métricos de peridotitos komatiíticos ($> 26\% \text{ MgO}$ a seco), cada qual composto por cumulados na base e textura spinifex no topo. São aqui cobertos por prováveis lapilli-tufos magnesianos.

PARADA N° 03 - Contato da base do Supergrupo Minas (Formação Moeda) com a base do Supergrupo Rio das Velhas (Formação Córrego dos Boiadeiros). Vista panorâmica da área de afloramento desta unidade.

No local onde estamos pode-se verificar (e por amão) em uma das mais espetaculares discordâncias angulares: o contato da base do Supergrupo Rio das Velhas, arqueozóico, com a base do Supergrupo Minas, proterozóico inferior.

A área de afloramento da sequência ultramáfica-máfica desenvolve-se à nossa frente, no sentido norte, até a elevação mais alta em segundo plano (constituída por formação ferrífera bandada). A nossa direita, no sentido leste, ocorre uma das porções mais magnesianas da sequência $\text{MgO} > 35\%$, onde até o momento, não foram encontradas estruturas efusivas relicticas, provavelmente devido ao intenso tectonismo. A que foram submetidas as rochas da Formação Córrego dos Boiadeiros, no núcleo da estrutura anticlinorial. Para oeste desenvolvem-se, a partir daqui, metabasaltos komatiíticos que orlam (Fig. 3) o núcleo de meta-komatiito.

Ao fundo, para leste e nordeste, observa-se um morro de crista aguçada, que é composto por metabasaltos komatiíticos. O vale que separa a elevação em que nos encontramos e a destrita acima é ocupado por sequências vulcano-sedimentares e metassedimentares (filitos grafíticos, formação ferrífera, etc.) do Grupo Nova Lima, superior à sequência komatiítica. Neste vale corre o Córrego Mostarda, e parece coindidir com uma zona sinclinal subordinada.

PARADA N° 04 - Córrego dos Boiadeiros.

Neste local ocorrem meta-komatiitos com, pelo menos, três níveis de derrames maciços, com lavas em almofadas e estruturas orbiculoidais. Ao longo do leito do córrego, no sentido oeste, repetem-se os derrames com características similares ao tipo "C" de Arndt, Naldrett & Pyke (1977). A direita do afloramento (sentido noroeste) há um enriquecimento em magnésio ($\text{MgO} > 35\%$), segregação de magnesita em faixas entre cruzantes e conspícua geração de crisótila em fendilhamento tectônico.

nico (antigas trincheiras e galerias para exploração de amianto podem ser observadas). No ponto em que estamos o teor de MgO é da ordem de 28%-30%. À esquerda, no sentido sudoeste, no leito do córrego, podem ser observadas, no bloco bem no centro da pequena represa, as estruturas orbiculoidais e possíveis spinifex. Abaixo da represa nos diversos blocos podem ser observadas estruturas lembrando juntas poliedrais. Em uma destas juntas foi feita uma lâmina delgada do material instersticial (?) e observou-se micro-spinifex.

PARADA N° 05 - Oficina da EXTRAMIL - secção-tipo da Formação Córrego dos Boiadeiros.

- a) canto norte do galpão da oficina e pedreira situada a 50m a sudeste daí - meta-komatiítos com textura cumulada relíctica, teor de MgO em torno de 30%-32%, com foliação metamórfica bem desenvolvida e alguma transposição;
- b) canto norte do galpão da oficina - meta-komatiítos encaroçados mostrando pseudomorfos de olivina sub-centimétricos (antigorita em lâminas grossas), imersos em uma matriz muito fina de antigorita, o teor de MgO gira em torno de 32%-33%;
- c) próximo a cabana de controle, a nordeste do galpão (\pm 20m), em pequenas cristas no solo - spinifex placóide (olivina) onde as placas atingem até duas dezenas de centímetros, a matriz é fina. Todo o conjunto foi transformado em antigorita, alguma tremolita e clorita. O teor de MgO gira em torno de 25%-28%;
- d) atrás do almoxarifado antigo, a 50m do galpão da oficina no rumo norte - derrames maciços, mostrando estruturas que lembram fluxo. O teor de MgO é da ordem de 32%-33%;
- e) 20m ao norte da parada anterior - meta-komatiítos com textura spinifex de piroxênio (bastonetes) mostrando "pine wheel", dobrados em antiforma de eixo mergulhante para NNE. Em lâmina mostra os pseudomorfos dos fenocristais imersos em matriz fina, spinifex em espinha de peixe e cristais esqueléticos. O teor de MgO é de cerca de 25%-26%;
- f) após a cerca, no sentido norte, ocorrem metabasaltos komatiíticos intemperizados.

PARADA N° 06 - Estrada acesso ao antigo corte da Ferrovia do Aço, e de acesso a Rio Acima.

Aqui ocorrem metabasaltos intemperizados, com prováveis estruturas em almofadas, estiradas, que constituem parte do topo da Formação Córrego dos Boiadeiros. Podem ser observadas algumas estruturas esferulíticas alongadas, segundo a xistosidade.

PARADA N° 07 - Corte abandonado da Ferrovia do Aço, próximo ao córrego Mostarda.

Metabasaltos komatiíticos (9%-12% MgO a seco) em derrames de escala métrica transpostas segundo uma xistosidade com coordenadas 30°-60°/110°-110°. No detalhe observam-se alternâncias de derrames com textura spinifex e derrames com prováveis almofadas contendo manchas e faixas com esferulitos. No extremo leste do corte estes metabasaltos komatiíticos são superpostos por uma camada de meta-tufos, meta-tufos lapilíticos e prováveis metaglomerados vulcânicos.

Com base na variação do talhe das texturas spinifex, o topo desta sequência está dirigido para sudeste.

PARADA N° 08 - Congonhas - Igreja Senhor Bom Jesus do Matosinhos.

Feições vulcânicas em rochas ultramáficas esteatilizadas.

Percorrendo-se o pátio que circunda o santuário observam-se, no chão, estruturas de rochas vulcânicas subaquáticas, caprichosamente preservadas, como "pillow-lavas", "pillow-breccias" e tufos. Uma observação cuidadosa, permite também identificar semelhantes feições nas estátuas esculpidas por Antonio Francisco Lisboa - o Aleijadinho. Dispostas no adro so santuário, as estátuas dos apóstolos constituem o con-

junto mais expressivo da escultura colonial brasileira. As rochas utilizadas provêm de antigas pedreiras distantes cerca de 2 km do local. Os esteatitos, serpentinitos e talco-xistos, que constituíram derrames de lavas ultramáficas (komatiitos) por vezes alternadas com formações feríferas, na base do Supergrupo Rio das Velhas, foram alçados por um domo granodiorítico. A intrusão, responsável pela carbonatização, foi posteriormente deformada, assim como suas encaixantes, adquirindo forma oblonga.

PARADA N° 09 - Km 223,5/MG - 050.

Grupo Bambuí - Formação Paraopeba - Membro Samburá. Predominante meta-siltitos, meta-arenitos líticos, meta-grauvacas e meta-conglomerados - metamorfismo de baixo grau. Ferrari e Brandalise (1977) interpretaram essas rochas como fanglomerados.

Distribuem-se em torno do Maciço de Piumhi associadas com prováveis paleo-escarpas, ou seja, são encontradas nas proximidades das rochas mais resistentes (conglomerados e quartzitos) do Grupo Superior, estando ausentes em torno de rochas do Grupo Inferior, que não teriam formado encostas íngremes.

Outra característica importante é a alternância de pacotes métricos a decamétricos mostrando acamadamento gradacional conspícuo, desde conglomerados passando por grauvacas e arenitos líticos até siltitos e argilitos. O conglomerado é polimítico, composto por seixos de gnaisses, mica-xistos, milonitos, granitos, aplitos, lavas ácidas, intermediárias, básicas, serpentinitos, calcáreos, margas, jaspes, quartzitos, quartzo leitoso, etc., sendo que a matriz é escura e microconglomerática. As grauvacas tem matriz terrígena abundante, mais feldspática que a matriz dos conglomerados.

O conjunto apresenta dobramentos suaves tardi-tectônicos que caracterizam o Grupo Bambuí (Campos, 1979).

Interpretação: O Samburá representaria um fácies de borda da Bacia do Grupo Bambuí, interdigitando-se com meta-lutitos e calcários em direção ao interior da bacia. Na ausência de paleo-escarpas, os sedimentos finos e químicos estão em contato direto com o maciço.

PARADA N° 10 - Km 224/MG - 050.

Discordância Litológica entre o Membro Samburá e o Granito Norte do Maciço de Piumhi.

Na margem esquerda do talvegue localiza-se uma zona de falha de empurrão, onde o granito está cataclasado e milonitizado, contendo pequenos diques aplíticos. Este granito é cortado por um dique básico (gabro-dolerítico), também afetado por esse tectonismo.

Na margem direita do talvegue ocorrem conglomerados do Membro Samburá, que não apresentam evidências do tectonismo observadas no granito.

Interpretação: As relações observadas sugerem que a deposição dos conglomerados se deu ao longo de um relevo escarpado consequente do falhamento anterior à deposição do Samburá.

Obs.: a 300 m, no sentido BH-PHI, ocorrem estruturas do tipo "pillow" em rocha básica intemperizada, no corte esquerdo da estrada. No campo, à direita, sob os fios de alta tensão, aflora rocha granítica de granulação fina (zona de bordo do Granito Norte).

PARADA N° 11 - Km 232,4/MG - 050.

(+1 km para S do trevo N de PHI) mais, 1 km à esquerda para o Bairro da Capoeira em estrada secundária, mais 100m à esquerda por caminho até o Cór. Caxambú.

Derrame basáltico, brecha vulcânica, dacito pôrfiro, tufo, sill de gáboo e cinzas vulcânicas.

Junto ao moinho d'água, no leito do Cór. Caxambú, afloram (para a montante):

- basaltos maciços melanocráticos afaníticos de composição toleítica;
- brechas constituídas de fragmentos vulcânicos centí a decimétricos;
- sill de riodacito pôrfiro com fenocristais automorfos de quartzo, plagioclásios e feldspato alcalino em matriz quartzo feldspática microgranular;
- tufos com acabamento gradacional, desde lapilli até cinzas. Os fragmentos são geralmente disformes, moldados e, às vezes, em forma de micro-bombas. A composição química global é muito próxima àquela de um basalto komatiítico (+ 13% MgO).
- o sill de gabbro dolerítico é semelhante àquele da Parada nº 04.
- as cinzas ocorrem no topo da sequência dos tuhos, tem granulometria muito fina, cor esverdeada clara e são varveadas.

PARADA Nº 12 - Km 228,3/MG - 050.

Mais 2,0 km pela estrada de Dorespolis e caminhar à direita (porteira) até o Rib. Araras + 400 m. Dobrar à esquerda junto a moita de bambú por mais 150 m.

Sedimentos intercalados a derrames de basaltos komatiíticos.

Afloramento, à margem esquerda do Ribeirão Araras, de sedimentos escuros carbonosos de granulação fina a média, por vezes laminadas, mas geralmente muito retorcidos, contendo níveis de cherts e de sulfetos (pirita e pirrotita).

Essa intercalação é coberta por cumulados peridotíticos bastante intemperizados e se sobrepõe a basaltos komatiíticos com textura spinifex muitofina no contato, aumentando para o interior do derrame. Na base deste derrame (+ 45 m de espessura) aparecem cumulados peridotíticos que, por sua vez, recobrem outra passagem sedimentar.

Interpretação: Tais intercalações (métricas) de sedimentos representariam deposição durante períodos de quiescência do vulcanismo, originados de misturas de detritos de rochas maficas, ultramáficas e mesmo félsicas. Haveria uma contribuição sulfurosa superposta, associada às exalações do vulcanismo (cf., Bavinton, 1981).

PARADA Nº 13 - Idem à nº 12 seguindo-se à montante, a partir da moita de bambú por + 300 m. Afloramento negro à margem direita do Rib. Araras.

Derrames compostos de basaltos komatiíticos.

Da base para o topo encontra-se:

- uma zona de + 25m de cumulados (peridotito komatiítico). Essa rocha é constituída de cristais pseudomorfos milimétricos de olivina automorfa (70 a 75%) imersos numa matriz pseudo-vítreo com grãos de minerais opacos. A rocha está completamente serpentinizada.
- no topo dos cumulados, uma zona constituída por rocha de estrutura orientada paralelamente ao plano de fluxo. Os fenocristais de prováveis orto-piroxênios esqueléticos estão imersos em matriz de tremolita, que contém ainda "trens" de minerais opacos (Cr-espinélicos).
- uma zona de basaltos komatiíticos à textura spinifex acicular, constituída de prismas bem desenvolvidos (até 10 cm.) atualmente compostos na sua região central por talco e nas bordas por tremolita. A matriz é constituída de saussurita provavelmente provinda de plagioclásio, assim como de agregados microlíticos arborescentes.

PARADA Nº 14 - Km 226,3/MG - 050.

Posto Tia Joana, mais 100 m no sentido BH-PHI, tomar caminho à direita por + 400 m. Parada opcional.

Corpo de Feldspato Pôrfiro (plagioclasitos).

Afloramento no leito do Rib. Araras (curva abrupta para Oeste) de intrusão de rocha porfirítica formada por fenocristais automorfos (1 a 2 cm) de plagioclásio, entre os quais cristalizaram-se piroxênios (augita rica em Ca-salita) e plagioclásios mais tardios, num arranjo sub-ofítico. Os acessórios são: esfeno, rutilo, quartzo, clorita, epidoto, serpentina e anfibólitos.

A composição dessa rocha varia em torno de: 46,7% SiO₂; 0,8% TiO₂; 19,8% Al₂O₃; 1,5% Fe₂O₃; 7,3% FeO; 0,13% MnO; 5,4% MgO; 11,0% CaO; 1,8% Na₂O 1,16% K₂O.

Esta rocha é intrusiva na Sequência Vulcano - Sedimentar do Grupo Inferior.

Interpretação: Poderia representar as primeiras manifestações de rochas com tendências à composição granítica (proto-granito incipiente de Anhaeusser, 1982).

PARADA N° 15 - Km 228,5/MG - 050.

Mais 2 km pela estrada secundária "Araras" (até o moinho de arroz), tomar estrada à esquerda até a ponte sobre o Rib. Araras e caminhar para a jusante.

Derrames em pillow-lavas de basaltos variolíticos.

Afloramento, no leito do Rib. Araras, de basaltos variolíticos (toleiíticos) constituindo uma unidade com cerca de 80 m de espessura, composta de um empilhamento de pillow-lavas de 0,1 a 1 m de diâmetro.

Próximo à base, os variolitos são abundantes.

Correspondem a estruturas esféricas (1 cm), isoladas ou coalescentes.

Nas proximidades do topo, a unidade é cortada por sills de micro-gabro.

Segundo Gélinas et al (1977), os variolitos podem se distribuir nos pillows de três maneiras: central, periférica e dispersa, demonstrando imiscibilidade de líquidos pré-existentes à extrusão.

PARADA N° 16 - Km 230,1/MG - 050.

Pillow-lavas de basaltos komatiíticos.

Estruturas de pillow-lavas com até 80 cm de diâmetro, cujo material inter-pillow tem cor esbranquiçada (palagonita - vidro hidratado).

A rocha é pôrfira, com fenocristais pseudomorfos de olivina (clorita) em matriz de micro-spinifex. O teor da MgO (a seco) é de 29%.

PARADA N° 17 - Km 231/MG - 050.

A 200 m do Posto Brazinho (sentido BH-PHI) no corte da Rodovia.

Micro-granito (ou riolito pôrfiro).

Contato irregular de rochas da sequência vulcânica constituída de rochas básicas alteradas, intercalações ferruginosas associadas a meta-siltitos, as quais representam o teto, ou as encaixantes do corpo ácido.

Na grande parte, o corpo é constituído por um micro-granito caracterizado por abundância de fenocristais sub-centimétricos de quartzo bipiramidalizado numa massa caulinizada. Ao microscópio, esta massa contém quartzo granular distribuído homogeneamente, caracterizando uma textura microgranular. Localmente encontram-se faixas xistosas mais frescas que mostram pontuações e filmes verdes descontínuos de sericita, os quais podem representar cristais de feldspato sericitizados e estirados ou filmes ignimbriticos.

PARADA N° 18 - 3 quilômetros a sul da cidade de Alpinópolis, entre o Ribeirão da Conquista e o Córrego Sapateiro; no leito e canaletas pluviais da estrada intermunicipal não pavimentada Alpinópolis - Petúnia - Nova Resende, e nos morros circunvizinhos.

- cerca de 800 m a sul da ponte sobre o Córrego Sapateiro, nas canaletas pluviais e leito da estrada afloram rochas parcialmente alteradas, ora foliadas ora maciças, constituídas predominantemente de tremolita e clo-

rita magnesiana. Talco é comum nas porções mais intensamente foliadas. Nas partes maciças, reconhecem-se texturas spinifex e possíveis texturas cumuláticas. A alternância na distribuição destas texturas indicam a existência de múltiplos derrames komatiíticos, com topo em direção a sul e espessuras individuais da ordem de vários metros, dispostos em um pacote de direção entre N20-60W, com mergulhos moderados para norte. As texturas spinifex ora são do tipo em placas ("plate spinifex"), com clorita + magnetita substituindo as divisas originais em arranjo plano-paralelo, com agregados de tremolita entre as placas de extensão centimétrica a decimétrica, ora são do tipo radiada ("radiating spinifex"), com plaquetas individualizadas de clorita + magnetita (pseudomorfos de olivina), de extensão de alguns milímetros a poucos centímetros, dispostos numa malha de padrão triangular em cujos interstícios nota-se minerais (ou agregados de minerais) de aspecto fibroso-sedoso, que são tremolitas pseudomorfos de clinopiroxênios plumosos. Além da conspicua presença da textura spinifex, chama a atenção a presença de feições esferoidais-ovaladas, de diâmetro em torno de 0,5-1,0 cm, que ocorrem tanto nas porções maciças ou pouco foliadas desprovidas de textura spinifex como nos níveis com textura spinifex, e parecem ser de tipos distintos: alguns, com estrutura interna concêntrica e contornos nítidos devem representar vesículas; outros, que se ressaltam na superfície alterada como brotoejas, e preservam o traçado das texturas spinifex que cortam dentro da sua alteração cinzenta, micácea-argilosa, talvez sejam restos de porfiroblastos (cordierita?).

- A norte, a aproximadamente 400-500m da ponte, ocorrem formas almofadadas em tremolítitos maciços, alterados no leito da estrada. São possivelmente "pillow-lavas", de dimensões em torno de 50 x 30 cm, em parte cisalhadas. Sua geometria indica topo em direção a sul.

- Nos morros a leste da estrada, o afloramento é na forma de calhaus e blocos, soltos e "in situ", de clorita-tremolítitos maciços ou pouco foliados. Em alguns blocos, reconhece-se a textura spinifex em placas de aspecto bastante regular, de extensão centimétrica. Ao microscópio, é possível reconhecer pseudomorfos de clinopiroxênios plumosos esqueletais na matriz fina, homogênea de tremolita e clorita. A atitude do pacote é concordante com as atitudes verificadas na estrada.

- A oeste, no leito da estrada abandonada paralela à atual e na pequena clareira no bosque: litologias similares às anteriores, inclusive com texturas spinifex. Mais a oeste da clareira, a cerca de 200m, em direção ao Ribeirão da Conquista: realçam-se cristais sustentados por quartzitos ferríferos bandados, que desenham um "V" com o ápice voltado para norte, e representam uma megadobra em cujos flancos afloram, em direção ao Ribeirão, clorita-serpentina xistos, antofilita-clorita xistos, e anfibolitos, e, a norte do ápice, carbonato-serpentina-talco xistos, que indicam assim uma significativa mobilização química nas ultramáficas afetadas por esta megaestrutura.

PARADA Nº 19 - 8 quilômetros a sudoeste de Alpinópolis, na Fazenda Gordura: no leito e morros adjacentes à estrada da fazenda, e nos barrancos e leito da estradinha que se dirige a sul, atravessando o Ribeirão Conquistinha.

- Na estrada que se dirige à Fazenda: no leito, tremolita-clorita xistos com talco, com microporfiroblastos de anfibólito acicular milimétricos (antofilita). Atitude da foliação: N50W, subvertical. No morrote à beira da estrada: metapiroxenitos verde-acinzentados, granulosos, com estrutura maciça, no qual anfibólitos prismático-fibrosos substituem os piroxênios. No leito da estrada, as litologias ultramáficas adjacentes, estão fortemente foliadas e talcificadas:

- Na Fazenda Gordura: tremolita-clorita xistos, intercalados a filitos e anfibolitos. 500 m a sul da Fazenda, os filitos e anfibolitos estão em contato com gnaisses graníticos cataclasados que sustentam os morros mais realçados. Nos tremolita-clorita xistos, percebe-se a alternância de leitos delgados, de espessura em torno de 0,5 - 1,0 mm, alternados de tremolita e de clorita, oblíquos à xistosidade. São restos de texturas spinifex, parcialmente preservados no xisto.

VII. BIBLIOGRAFIA

- ANHAEUSSER, C.R. - 1982 - Archean greenstones terranes: geologic evolution and metallogenesis. *Revista Brasileira de Geociências*. Vol. 12 (1-2): 1-6.
- ARNDT, N.T.; NALDRETT, A.J.; PYKE, D.R. - 1977 - Komatiitic and iron-rich tholeiitic lavas of Munro Township, Northeast Ontario. *Journal of Petrology* (18): 319-369. Part 2.
- ARNDT, N.T. and Brooks, C. - 1980 - Komatiites: Penrose conference report. *Geology*, 8: 155-156.
- ARNDT, N.T. e NISBET, E.G. - 1982 - Komatiites. George Allen and Unwin, Londres.
- BARBOSA, A.L.M. - 1929 - Variações de fácies na série Minas. Atas do I Simpósio de Geologia de Minas Gerais. Geologia do Espinhaço. B. Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo MG. Belo Horizonte, (1): 89-100, 1929.
- BAVINTON, O.A. - 1981 - The nature of sulfidic metasediments at Kambalda and their broad relationships with associated ultramafic rocks and nickel ores. *Economic Geology*, 76 (6): 1606-1628.
- BICKLE, M.J.; MARTIN, A. and NISBET, E.G. - 1975 - Basaltic and perioditic komatiites and stromatolites above a basal unconformity in the Belingwe Greenstone Belt, Rhodesia. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 27: 155-162.
- BLAIS, S.; AUVRAY, B.; CAPDEVILA, R., JAHN, B.M., BERTRAND, J.M. and HAMEURT, J. - 1978 - The Archean greenstone belts of Karelia (eastern Finland) and their komatiitic and tholeiitic series. In: B.F. Windley and S.M. Naqvi (Editors), *Archean Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 87-107.
- BROOKS, C. e HART, S.R. - 1974 - On the significance of komatiite. *Geology*, V.2: 107-110.
- CAMPOS, M.C. - 1979 - Lithostatigrafie et structure des groupes Canastra, Paranoá et Bambuí dans l'Ouest - Nord-Ouest de l'Etat de Minas Gerais (Brasil) - Tese 3º Ciclo. Un. P. e M. Curie (Paris VI), 155 pp.
- CHAYKA, V.M. - 1977 - Proterozoic komatiite of the Central Sahara. *Dokl. Acad. Sci. USSR, Earth Sci. Sect.* 231_155-157.
- CHOUD HURI, A; SZABÓ, G.J.A. e EBERT, H.D. - 1982 - Feições Estruturais e Texturais dos Derrames Ultramáficos a Norte e Nordeste de Petúnia, Sul de Minas Gerais. *Ciênc. Terra*, nº7: 18-20.
- DIETRICH, V.J., GANSSE, A., SOMMERAUER, J. and CAMERON, W.E. - 1981 - Paleogene komatiites from Gorgona Island, East Pacific: A primary magma for ocean floor basalts? *Geochem. J.*, 15: 141-161.
- DORR, J.V.N., II - 1959 - Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Geological Survey Professional Paper. USRG-DNPM, Washington, 641-A, 1969.11pp.
- DORR, J.V.N., II; GAIR, J.E.; POMERENE, J.B.; RYNEARSON, G.A. - 1957 - Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero. Avulso Div. Fom. Prod. Mineral. Rio de Janeiro. (81): 5-31. 1 tab. 1 map.
- ECHEVERRIA, L.M. - 1980 - Tertiary or Mesozoic komatiites from Gorgona Island, Colombia: Field relations and geochemistry. *Contrib. Mineral Petrol.*, 73: 253-266.
- FRANCIS, D.M; HYNES, A.J.; LUDDEN, J.M. and BÉDARD, J. - 1981 - Crystal fractionation and partial melting in the petrogenesis of a Proterozoic high MgO volcanic suite, Ungava, Québec. *Contrib. Mineral Petrol.*, 78:27-36.
- FRITSONS, O.; BIONDI, J.C. and CHABAN, A. - 1980 . *Geologia da Região de Piumhi, Minas Gerais, Anais do XXXI Congr. Bras. Geol.*, 5:2906-2917.

- GAIR, J.E. - Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio Acima quadrangles, Minas Gerais, Brazil - 1962- Geological Survey Professional Paper. USGR-DNPM, Washington, 341-A. 65p.
- GANSER, A. DIETRICH, V.J. and CAMERON, W.E. - 1979 - Paleogene komatiites from Gorgona Island. Nature, 278: 545-546.
- GÉLINAS, L.; BROOKS, C. and TRZCIENSKI, W.E., Jr. - 1976 - Archean variolites-quenched immiscible liquids. Can.J. Earth Sci., 13: 210-230.
- GUILD, P.W. - 1960 - Geologia e Recursos Minerais do Distrito de Congonhas, Estado de Minas Gerais, Dep. Nac. Prof. Min., Mem.nº1 211 pp.
- GUIMARÃES, D. - 1931 - Contribuição à Geologia do Estado de Minas Gerais, Brasil - SERviço Geol. Miner. Bol. 55, 36 p.
- HARDER, E.C.; CHAMBERLIN, R.T. - 1915 - The Geology of Central Minas Gerais, Brazil: Journ. Geolgy, v. 23, nº4, p. 341-378; nº5, p. 385-424.
- HAWKESWORTH, C. J. and O'NIIONS, R.K. - 1977 - The petrogenesis of some Archean volcanic rocks from southern Africa. J. Petrol. 18: 487-520.
- HERZ, N. - 1970 - Gneissic and igneous rocks of the Quadrilátero Ferrígero. Geological Survey Professional Paper. USGS-DNPM, Washington, 641-B.
- HERZ, N. - 1978 - Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil, Geological Survey Professional Paper. USGS.DNPM, Washington, 641-C
- IRVING, A.J. - 1978 - A review of experimental studies of crystal liquid trace element partitioning. Geoc. Cosmo. Acta 42: 743-770.
- JAHN, B.M. e SCHRANK, A.- 1983 - Regeochemistry of komatiites and associated rocks from Piumhi, Southeastern Brazil. Precambrian. Res., 21. pp.1-20.
- JAHN, B.M. and GRUAU, G. - 1981 - Possible signigicance of REE typology of komatiites to the Archean mantle differantiation (Abstract). First EUG Meeting, Strasbourg, Terra Cognita, p. 19.
- JAHN, B.M.; AUVRAY, B.; BLAIS, S.; CAPDEVILA, R.; CORNICHE, J.; VIDAL, F. and HAMEURT, J. - 1980 . Trace element geochemistry and petrogenesis of Finnish greenstone belts. J. Petrol. 21:201-244.
- JENSEN, L.S. - 1976 - A new cation plot classifying subalkalic volcanic rocks. Ont. Div. Mines Misc. Pap., 66, 22 pp.
- LADEIRA, E.A. - 1980a- Metallogenesis of Gold at the Morro Velho Mine and in Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. University of Western Ontario, Unpubl. Ph.D. Thesis: 272 p. London, Ontario/Canada.
- LADEIRA, E.A. - 1980b - Genese de Ouro na Mina de Morro Velho e no Distrito de Nova Lima, Minas Gerais, Brasil. XXXI Congr. Bras. Geol. Bol.q:p.371. Camboriú.
- LADEIRA, E.A - 1980c - Geology, Petrography and Geochemistry of Nova Lima Group, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. 7. Geowiss. Lateinamer. Voll., Tagmashef: 47-48. Heidelberg.
- LADEIRA, E.A. - 1981a - Geologia e Genese de Ouro da Mina de Morro Velho e no Distrito de Nova LIMA, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Simp. Mineralizações Auríferas no Estado da Bahia, Secr. Minas e Energia, p.s.
- LADEIRA, E.A. - 1981b - Primeiras lavas com almofadas ("pillows") encontradas no Supergrupo Rio das Velhas, de idade Arqueana, no Quadrilátero Ferrífero e no Distrito de Pitangui, Minas Gerais. Ciências da Terra, 1 (1): 12-14.
- LADEIRA, E.A. - 1982 - Brief introduction to the Geology of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil II Internat. Sem. on

- LADEIRA, E. A.; VIVEIRO, J.F.M. de - 1984 - Hipótese sobre a estrutura do Quadrilátero Ferrífero com base nos dados disponíveis. B. da Soc. Bras. Geologia - Núcleo de Minas Gerais. Belo Horizonte, (4). 12p. Páginas sem numeração.
- LADEIRA, E.A.; ROESER, H.; TOBSCHALL, H.J. - 1983 - Petrography of the Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. a bol. Geol. Paläont. Teil. I, H 3/4, p.430-445. Stuttgart. Oktober, 1983.
- LADEIRA, E.A.; ROESER, H.; TOBCHALL, H.J. 1983 - Evolução pretogenética do cinturão de rochas verdes Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, MG. Anais do II Simp. de Geologia de Minas - Geologia do Pré.Cambriano. B. da Soc. Bras. Geologia - Núcleo de Minas Gerais. Belo Horizonte, (3): 149-65, 1983.
- LOCZY, L. de; LADEIRA, E.A. - 1976 - Geologia Estrutural e Introdução a Geotectônica. São Paulo. Edegar Blücher. Rio de Janeiro, CNPQ, 528 p. il.
- LUDDEN, J.N. and GÉLINAS, L. 1982 - Trace element characteristics of komatiites and komatitic basalts from the Abitibi metavolcanic belt of Quebec. In: N.T. Arndt and E.G. Nisbet (eds.), komatiites. George Allen and Unwin, London, pp. 331-346.
- MORALES, N.; CARVALHO, S.G. de; CHOUDHURI, A.; FIORI, A.P.; OLIVEIRA M.A.F. de; RODRIGUES, M.F.B.; SOARES, P.C.; ZANARDO, A. - 1983 - Geologia das folhas de Frotaleza de Minas, Alpinópolis, Jacuí e Nova Resende, MG. An. II Simp. Geol. Minas Gerais - Geologia do Précambriano - SBG Núcl.MG. Bo. nº 3 - Belo Horizonte: 411-422.
- MUTANEN, T. - 1976 - Komatiites and komatiite provinces in Finland. Geology, 4-5:49-56.
- NAQVI, S.M. VISWANATHAN, S. and VISWANATHAN, M.N. - 1978 - Geology and geochemistry of the Holenarasipur schist belt and its place in the evolutionary history of the Indian Peninsula. In: B.F. Windley and S.M. Naqvi (Editors), Archean Geochemistry. Elsevier, Amsterdam, pp. 109-126.
- NESBITT, R. W. - 1971 - Skeletal crystal forms in the ultramafic rocks of the Yilgarn Block, Western Australia: evidence for an Archean ultramafic liquid. Geol. Soc. Austr. Spec. Publ. 3:331-347.
- NESBITT, R.W. and SUN, S.S. - 1976 - Geochemistry of Archean spinifex-textured peridotites and magnesian and low-magnesian tholeiites. Earth Planet. Sci. Lett., 31: 433-453.
- NESBITT, R.W.; SUN, S.S. and PURVIS, A.C. - 1979 - Komatiites: Geochemistry and genesis. Can. Mineral., 17: 165-186.
- NESBITT, R.W.; JAHN, B.M. and PURVIS, A.C. - 1981 - Komatiites: an early Precambrian phenomenon. J. Volcan. Geothermal Res, 14:31-45.
- NISBET, E.; BICKLE, M.J. and MARTIN, A. - 1977 - The mafic and ultramafic lavas of the Belingwe greenstone belt, Rhodesia. J. Petrol., 18:521-566.
- PADILHA, A.V.; OLIVEIRA, S.D.; SOARES, J.M.H. - 1981 - Geologia da Folha Acuruí. Rel. Inédito. Inst. Geociênc.Apl. Páginas sem numeração. mapa impresso.
- PADILHA, A.V.; SILVA Jr., J.C. da; OLIVEIRA, S.D. de - 1983 - A unidade metavulcânica do Grupo Nova Lima no Córrego dos Boiadeiros/Uma sequência ultramáfica-máfica komatiítica na base do Supergrupo Rio das Velhas na área central do Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais. Apresentado no II Sim. de Geol. de Minas Gerais - Geologia do Pré-Cambriano. 14p. mimeografadas.
- POMERENE, J.B. - 1964 - Geology and ore deposits of the Belo Horizonte, Ibirité and Macaos quadrangles, Minas Gerais, Brazil. Geological Survey Professional Paper. USGS-DNPM, Washington, 341 D, 1984. 84 p. il. maps.

- PYKE, D.R.; NALDRET, A.J. and ECKSTRAND, O.R. - 1973 - Archean ultramafic flows in Munro Township, Ontario. Bull. Soc. Am., 84:955-978.
- SCHORSCHER, H.D., 1978 - Komatiitos na estrutura "Greenstone Belt", Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. XXX Congresso Brasileiro de Geologia, Resumo.
- SCHMIDT, W. - 1983 - Die Geologie der Araxá Gruppe in Südwest Minas Gerais. Brasilien, unter besonderer Berücksichtigung des Grünsteingürtels von Fortaleza de Minas - tese de doutoramento - Universidade de Freiburg - RFA.
- SCHRANK, A. - 1979 - Géologie de la région de Piumbi (MG) Brésil. Dipl. Et. approf. Univ. Paris. Sud, Orsay, 52 pp.
- SCHRANK, A. - 1982 - Petrologie des komatiites et des roches associées de la ceinture verte du Massif Precambrien de Piumhi (Minas Gerais Brésil). Thèse Docteur - Ingenieur, Univ. Paris-sud, Orsay, 272 pp.
- SCHRANK, A. - 1984 - Pillow-lavas, brechas e tufo em esteatitos de Congonhas (MG). Submetido ao XXXIII Congr. Bras. Geol.
- SCHWARZ, E.J. and FUJIWARA, Y. - 1977 - Komatiitic basalts from the Proterozoic Cape Smith Range in northern Quebec, Canada. In: W.R.A. Baragar, L.C. Coleman and J.M. Hall (Editors), Volcanic Regimes of Canada. Geol. Assoc. Can. Spec. Pap. 16: 192-201.
- SICHEL, S.E. - 1983 - Geologia das Rochas Pré-Cambrianas da Região de Barão de Cocais e Geoquímica Preliminar dos Komatiitos do Supergrupo Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. MSc. Tese - UFRJ, Brasil.
- SICHEL, S.E. and ESPERANÇA, S. - 1983 - The Petrography and Geochemistry of the Quebra Osso Komatiites, Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais State, Brazil. Abstract in American Geophysical Union, Fall Meeting San Francisco. EOS, vol. 64, nº 45, p. 902.
- SICHEL, S. E e VALENÇA, I.G. - 1983 - Geologia do Arqueano da Região de Santa Bárbara, Quadrilátero Ferrífero (MG). Anais II Simp. Geol. Minas Gerais, Bol. nº 3, pp. 197-208.
- SICHEL, S.E. and ESPERANÇA, S., no prelo. The Petrography and Geochemistry of the Quebra Osso Komatiites, Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais State, Brazil. Submitted to Precambrian Research, Elsevier, Amsterdam.
- SUN, S.S. and NESBITT, R.W. - 1977 - Chemical heterogeneity of the Archean mantle, composition of the Earth and mantle evolution. Earth Planet. Sci. Lett., 35: 429-448.
- SUN, S.S. and NESBITT, R.W. - 1978 - Petrogenesis of Archean ultrabasic and basic volcanics: evidence from rare earth elements. Contrib. Mineral. Petrol., 65: 301-325.
- SWAMI NATH, J., RAMAKRISHNAN, M. and VISWANATH, M.N. - 1976 - Dharwar stratigraphic models and Karnataka Craton evolution. Records Geol. Surv. India, 107: 149-175.
- TEIXEIRA, N.A. - 1978 - Geologia, petrologia e prospecção geoquímica da seqüência vulcâno-sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas- MG. - Tese de Mestrado - UnB.
- TEIXEIRA, N.A. e DANNI, J.C.M. - 1979a - Geologia da raiz de um greenstone-belt na Região de Fortaleza de Minas, Minas Gerais. Rev. Bras. Geoc., V. 9, nº 2, p. 17-26.
- TEIXEIRA, N.A. e DANNI, J.C.M. - 1979b - Petrologia das lavas ultrabásicas e básicas da seqüência vulcâno-sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). Rev. Bras. Geoc., V. 9, nº 2, p. 151-158.
- TEIXEIRA, N.A., SABOIA, L.A., FERREIRA, M.C.B., TEIXEIRA, A.S. and D. CASTRO, J.H.G., 1981. Estruturas e texturas das lavas ultrabásicas e básicas do greenstone belt de Crixas, Goiás, Brasil. Soc. Bras. Geol. Núcleo Centro-Oeste. Bull., 10:35-87

- VILJOEN, M.J. and VILJOEN, R.P. - 1969 - The geology and geochemistry of the lower ultramafic unit of the Onverwacht Group and a proposed new class of igneous rock. Geol. Soc. South Africa. Spec. Publ.2: 55-85.
- WERNICK, E., ARTUR, A.C., FIORI, A.P. - 1981 - Reavaliação de dados geocronológicos da Região Nordeste do Estado de São Paulo e unidades equivalentes dos Estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Atas 3º Simp. Reg. Geol. - Curitiba - 1: 328.342.
- WILLIAMS, D.A.C. - 1972 - Archean ultramafic, mafic and associated rocks, Mt Monger, Western Australia. Journ. Geol. Soc. Austr., V. 19,pt. 2, p. 163-188.

TABELA I - ANÁLISE DE ELEMENTOS MAIORES DA SÉQUENCIA KOMATIÍTICA DO QUEBRA OSSO

5.361

AMOSTRA	GRUPO I					GRUPO II							
	Rochas com Estruturas Efusivas					Rochas Komatiíticas sem Feições Originais							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	51.22	41.67	47.76	49.25	45.16	46.01	52.61	45.73	46.91	46.03	46.03	43.57	55.09
TiO ₂	0.14	0.25	0.15	0.12	0.04	0.12	0.23	0.10	0.13	0.09	0.51	0.28	0.17
Al ₂ O ₃	5.31	9.64	6.35	5.35	5.26	7.34	8.27	6.94	6.58	3.54	9.17	7.79	5.25
Fe ₂ O ₃	0.09	11.49	9.83	9.05	10.67	10.62	9.56	9.94	9.77	9.05	14.45	11.32	9.32
MnO	0.09	0.99	0.12	0.07	0.16	0.09	0.07	0.09	0.07	0.10	0.19	0.06	0.04
MgO	26.19	34.37	29.51	30.87	38.71	31.51	29.06	35.42	33.40	34.58	29.62	32.89	29.41
CaO	7.90	2.33	6.16	5.20	0.05	4.21	0.24	1.70	3.06	3.23	0.02	4.01	0.68
Na ₂ O	0.06	0.02	0.07	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
K ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
P ₂ O ₅	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.05	0.03	0.01
S	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.12	0.00	0.01	0.00
Total	100.03	100.90	99.99	99.89	100.08	100.05	100.08	100.00	99.98	99.89	100.05	99.99	100.00

Grupo I - Amostras 1,2,3 - textura spinifex; 4 - lava vesicular(?); 5 - tulfo vulcânico.
 Grupo II - Amostras 6,7,8,9,10,11,12 - sem estrutura original nítida; 13 - lente ultra-máfica inclusa nos migmatitos.

Todas as análises (em base anídrica) foram efetuadas por XRF - University of Durhan, Inglaterra.

TABELA I - ANÁLISE DE ELEMENTOS MAIORES DA SEQUÊNCIA KOMATIÍTICA DO QUEBRA OSSO

AMOSTRA	GRUPO III							GRUPO IV				
	Cumulados e Lava Maciça							Metassedimentos Ultramáficos				
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
SiO ₂	48.26	45.38	42.19	46.34	51.05	48.13	45.77	52.80	52.16	45.71	52.32	52.00
TiO ₂	0.06	0.05	1.16	0.05	0.10	0.22	0.13	0.14	0.12	0.09	0.14	0.15
Al ₂ O ₃	1.42	4.05	6.92	3.74	2.76	1.83	6.90	4.52	4.47	6.60	4.16	4.50
Fe ₂ O ₃	3.97	9.60	11.07	9.71	2.76	12.47	9.95	7.88	8.05	10.27	8.04	8.51
MnO	0.06	0.05	0.17	0.02	0.08	0.12	0.08	0.07	0.08	0.11	0.11	0.10
MgO	39.53	38.07	38.49	38.56	38.11	37.21	35.41	26.29	26.95	34.50	26.71	26.31
CaO	1.54	2.72	0.11	1.48	0.01	0.01	1.72	8.25	8.11	3.12	8.43	8.30
Na ₂ O	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.08	0.08
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
S	0.07	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01
Total	99.93	99.94	100.06	99.92	100.72	100.02	100.01	100.00	99.98	99.99	99.99	100.02

Grupo III - Amostras 14,15,16,17,18,19,20 - cumulados.

Grupo IV - Amostras 21,22,23,24,25 - rochas afaníticas sem fratura conchoidal,
de provável origem sedimentar.

Todas as análises (em base anídrica) foram efetuadas por XRF - University of Durhan, Inglaterra.

TABELA II - ELEMENTOS TRAÇOS DA SEQUÊNCIA KOMATIÍTICA DO QUEBRA OSSO

Grupo III - Amostras 14,15,16,17,18,19,20 - cumulados.

Grupo IV - Amostras 21,22,23,24,25 - rochas afaníticas sem fratura conchoidal, de provável origem sedimentar.

Todas as análises (em base anídrica) foram efetuadas por XRF - University of Durhan, Inglaterra.

TABELA II - ELEMENTOS TRAÇOS DA SEQUÊNCIA KOMATIÍTICA DO QUEBRA OSSO

AMOSTRA	GRUPO I					GRUPO II							
	Rochas com Estruturas Efusivas					Rochas Komatiíticas sem Feições Originais							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Cr	2939	2463	4194	3300	245	4863	3213	3790	4059	2420	2611	4498	3224
Ni	1769	858	1863	3466	2818	2037	1560	2942	1560	2015	1254	1204	1661
Cu	12	18	21	10	15	55	7	12	9	25	47	15	10
Zn	45	66	56	187	54	67	93	56	126	50	139	66	131
Rb	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1
Sr	9	7	14	4	3	11	7	3	3	76	25	8	2
Ba	77	17	103	0	99	80	93	97	89	56	78	107	60
Y	21	4	5	10	103	3	12	17	30	3	28	3	2
Zr	11	19	9	5	6	4	14	5	5	4	70	13	11
Nb	4	4	2	4	6	3	3	3	4	4	6	3	3
La	14	2	3	42	90	3	1	6	34	0	84	0	1
Ce	11	15	1	9	27	1	9	4	2	16	24	3	8

Grupo I - Amostras 1,2,3 - textura spinifex; 4 - lava vesicular(?); 5 - tulfo vulcânico.
 Grupo II - Amostras 6,7,8,9,10,11,12 - sem estrutura original nítida; 13 - lente ultra-máfica inclusa nos migmatitos.

Todas as análises (em base anídrica) foram efetuadas por XRF - University of Durhan, Inglaterra.

TABELA II - ELEMENTOS TRAÇOS DA SEQUÊNCIA KOMATIÍTICA DO QUEBRA OSSO

AMOSTRA	GRUPO III							GRUPO IV				
	Cumulados e Lava Maciça							Metassedimentos Ultramáficos				
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Cr	3359	5214	108	6376	2707	2294	3786	3068	2833	3534	2863	3743
Ni	2124	1401	125	2717	2348	2612	3004	1956	2057	1663	2009	1464
Cu	21	8	10	22	9	114	11	10	19	64	30	79
Zn	42	52	57	52	44	186	57	45	41	60	43	43
Rb	0	1	0	1	0	3	2	1	1	0	1	0
Sr	38	76	2	29	1	4	3	8	8	4	9	9
Ba	52	77	89	93	36	12	89	91	69	84	11	6
Y	1	7	5	7	2	324	17	6	11	4	8	5
Zr	3	3	58	5	4	22	5	6	6	3	7	8
Nb	3	3	4	3	3	14	3	3	3	3	3	3
La	2	2	0	3	2	5850	6	2	0	11	1	2
Ce	10	0	25	0	13	159	2	10	12	7	12	2

Grupo III - Amostras 14,15,16,17,18,19,20 - cumulados.

Grupo IV - Amostras 21,22,23,24,25 - rochas afaníticas sem fratura conchoidal,
de provável origem sedimentar

Todas as análises (em base anídrica) foram efetuadas por XRF - University of Durhan, Inglaterra.

TABELA III - ANÁLISES QUÍMICAS DE ELEMENTOS (a) MAIORES DA SEQUÊNCIA KOMATIÍTICA DO CÔRREGO BOIADEIRO

(Fonte: Atahualpa, 1984).

Todas as análises (em base anídrica) foram efetuadas por XRF - University of Durhan, Inglaterra.

TABELA III - ANÁLISES QUÍMICAS DE ELEMENTOS^(a) MAIORES DA SEQUÊNCIA KOMATIÍTICA DO CÓRREGO BOIADEIRO
(Fonte: Atahualpa, 1984).

amostra	KOMATIITOS E BASALTOS KOMATIÍTICOS - TEXTURA SPINIFEX									KOMATIÍTOS-TEXTURAS CUMULUS		
	1	2	3	4	5	6	7	8 ^b	9	10	11	12
SiO ₂ (%)	54,80	53,26	50,27	51,13	50,50	50,38	49,52	47,24	46,77	44,49	43,03	30,63
TiO ₂	0,51	0,56	0,26	0,19	0,37	0,37	0,22	0,32	0,06	0,44	0,11	0,04
Al ₂ O ₃	11,57	10,74	13,53	13,81	13,94	15,92	5,93	9,90	4,58	11,16	7,28	2,79
Fe ₂ O ₃	10,74	11,60	6,99	10,05	10,90	7,31	9,40	9,10	3,69	9,83	10,87	10,45
MnO	0,15	0,14	0,14	0,16	0,24	0,15	0,19	0,15	0,06	0,11	0,17	0,18
MgO	11,07	10,17	13,07	15,70	18,18	10,94	25,50	28,68	43,63	29,00	36,66	40,74
CaO	9,30	8,54	14,00	6,12	4,87	14,09	9,35	4,68	0,97	4,71	1,63	15,12
Na ₂ O	1,68	4,44	1,40	2,30	0,26	1,01	0,07	0,17	0,12	0,09	0,25	0,04
K ₂ O	0,06	0,42	0,35	0,55	0,74	0,02	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
P ₂ O ₅	0,04	0,06	0,04	0,04	0,05	0,05	0,02	0,01	0,02	0,10	0,03	0,01
Ni(ppm)	208	251	236	314	676	173	534	550	1226	1454	1375	963
Cr	616	753	616	640	1500	109	2160	610	2532	2668	4174	4475

(a) - Análises recalculadas a 100% em base anidra, Fe total como Fe₂O₃.

N^b - Derrame almofadado.

(a)

TABELA IV - ANÁLISES QUÍMICAS DE ELEMENTOS MAIORES^(a) DO GRUPO INFERIOR - MACIÇO DE PIUMHI

(Fonte: Schrank, 1982)

5.366

amostra	KOMATIITOS ^(b)			BASALTOS KOMATIÍTICOS - TEXTURA SPINIFEX								
	1 ^c	2 ^c	3 ^c	4 ^c	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂ (%)	47,51	49,52	52,86	51,33	51,48	51,28	52,34	54,84	55,83	55,68	58,37	58,28
TiO ₂	0,24	0,33	0,34	0,53	0,62	0,69	0,64	0,52	0,55	0,58	0,36	0,67
Al ₂ O ₃	8,35	6,93	6,81	12,48	12,24	11,74	10,52	12,01	11,17	13,33	8,93	12,09
FeO	8,91	9,77	10,00	9,97	11,45	12,63	0,69	11,00	13,09	10,43	9,67	9,48
MnO	0,18	0,21	0,14	0,19	0,19	0,17	0,26	0,28	0,25	0,34	0,22	0,16
MgO	28,68	25,88	21,59	14,63	14,45	13,53	15,27	12,01	11,48	9,02	16,69	9,42
CaO	5,92	6,92	8,08	8,29	7,38	7,24	8,55	7,10	5,69	7,38	5,63	7,68
Na ₂ O	0,12	0,29	0,13	2,29	1,95	2,46	1,46	1,74	1,62	2,82	0,10	1,83
K ₂ O	0,02	0,05	0,01	0,18	0,24	0,26	1,15	0,42	0,26	0,34	0,02	0,37
P ₂ O ₅	0,07	0,11	0,05	0,11	0,00	0,00	0,12	0,06	0,05	0,08	0,00	0,02
Ni (ppm)	1144	1179	707	403	460	270	290	236	157	107	393	165
Cr	1967	2170	3215	1010	2100	1350	990	1012	922	414	2162	960

(a) = Analises recalculadas a 100% em base anidra, Fe total como Feo.

(b) = Textura micro-spinifex; N^c - Derrames almofadados.TABELA IV - ANÁLISES QUÍMICAS DE ELEMENTOS MAIORES^(a) DO GRUPO INFERIOR - MACIÇO DE PIUMHI

(Fonte: Schrank, 1982)

TABELA IV - ANALISES QUÍMICAS DE ELEMENTOS MAIORES ^(a) DO GRUPO INFERIOR - MACIÇO DE PIUMHI
 (Fonte: Schrank, 1982)

amostra \	KOMATIITOS - TEXTURAS CUMULUS E PORFIRÍTICAS										BAS. KOM. - LAPILLI TUPOS		
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
SiO ₂ (%)	43,75	44,50	45,01	48,03	47,70	47,58	48,98	49,74	50,69	50,30	51,43	52,11	
TiO ₂	0,40	0,00	0,29	0,25	0,40	0,48	0,29	0,40	0,40	0,64	0,75	0,77	
Al ₂ O ₃	3,40	3,42	4,53	5,99	5,62	7,12	5,20	7,80	6,51	10,35	11,05	10,87	
FeO	15,97	15,72	10,02	13,29	11,55	9,35	13,40	10,62	9,01	11,09	11,42	11,75	
MnO	0,33	0,06	0,20	0,21	0,19	0,03	0,23	0,24	0,14	0,22	0,24	0,07	
MgO	32,19	35,53	36,52	30,40	27,37	27,58	26,76	23,41	24,75	13,49	12,76	12,11	
CaO	3,85	0,32	3,20	1,81	6,92	7,61	4,87	7,59	8,36	12,96	9,51	9,31	
Na ₂ O	0,06	0,05	0,08	0,02	0,22	0,09	0,19	0,14	0,07	0,62	2,49	2,71	
K ₂ O	0,00	0,03	0,06	0,00	0,02	0,05	0,02	0,01	0,00	0,16	0,18	0,15	
P ₂ O ₅	0,06	0,03	0,09	0,00	0,00	0,11	0,07	0,05	0,07	0,17	0,17	0,15	
Ni (ppm)	1493	1905	1806	1179	1336	1180	1886	786	1022	555	407	342	
Cr	3810	1225	1009	5952	1940	4099	5255	2867	11000	1078	1077	739	

(a) = Analises recalculadas a 100% em base anidra, Fe total como FeO.

TABELA V -ANÁLISES QUÍMICAS DE ELEMENTOS MAIORES^(a) DE FORTALEZA DE MINAS

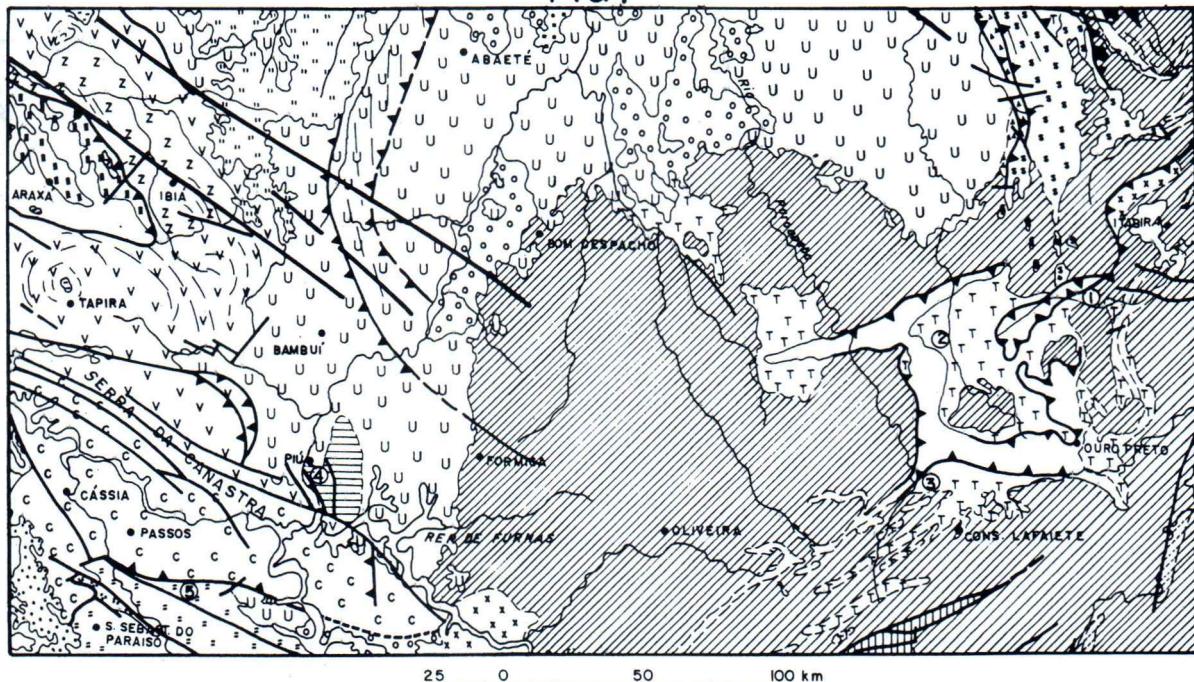
amostra	STPK*	PK	PYK	BK	TOL	SC
	1 ^b	2 ^b	3 ^b	4 ^b	5 ^b	6 ^b
SiO ₂ (%)	41,13	45,03	48,50	50,22	48,26	46,08
TiO ₂	0,26	0,34	0,57	1,11	1,73	0,65
Al ₂ O ₃	4,12	6,21	8,22	15,19	15,57	5,80
Fe ₂ O ₃	12,00	11,15	14,06	12,99	14,91	11,91
MnO	0,17	0,14	0,22	0,16	0,18	0,20
MgO	30,88	26,75	16,64	7,60	6,45	20,95
CaO	8,11	5,43	8,18	7,84	8,36	8,57
Na ₂ O	-	0,47	0,60	0,35	0,96	0,33
K ₂ O	0,01	0,02	0,13	0,26	0,70	0,22
P ₂ O ₅	0,02	0,04	0,5	0,11	0,24	0,09
Ni (ppm)	2921	2080	1578	667	207	-
Cr	4682	2961	2217	2082	512	-

STPK-Komatiito-textura spinifex, PK-Peridolito komatiítico, PYK-Piroxeno-nito komatiítico, BK-Basalto komatiítico, TOL-Toleito, SC-Serpentina-cloritaxisto.

N^b - Médias segundo Schmidt (1983); N^c - Teixeira (1978).

ESBOÇO GEOLOGICO DA BORDA SUL DO CRATON DO SÃO FRANCISCO COM AS AREAS A SEREM VISITADAS

FIG. I



FANEROZOÍCO

CENOZOÍCO

QUATERNÁRIO

Pleistoceno

GRUPO ARAXÁ



Sedimentos detriticos-lateríticos



MESOZOÍCO
CRETÁCEO



Formação Mata da Corda



PALEOZOÍCO

CARBONÍFERO / PERMIANO



PROTEROZOÍCO

PROTEROZOÍCO SUPERIOR



GRUPO BAMBUI / Sub-Grupo Paraopeba



GRUPO MACAUBAS



Formação Ibiá



GRUPO SÃO JOÃO DEL-REI



SUPERGRUPO ESPINHAÇO



GRUPO CANASTRA

PROTEROZOÍCO INFERIOR

SUPERGRUPO MINAS

Sequência Máfica-Ultramáfica do Serro

ARQUEOZOÍCO

Complexo Campos Gerais

SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS

Sequência Vulcano-Sedimentar de Fortaleza de Minas

Sequência Vulcano-Sedimentar de Piumhi

Complexo Migmatico-Granulítico

Complexo Granito-Gnaissico-Migmatítico

PRÉ-CAMBRIANO INDIFERENCIADO

Xisto, quartzito

Granitoide

Falha de empurão

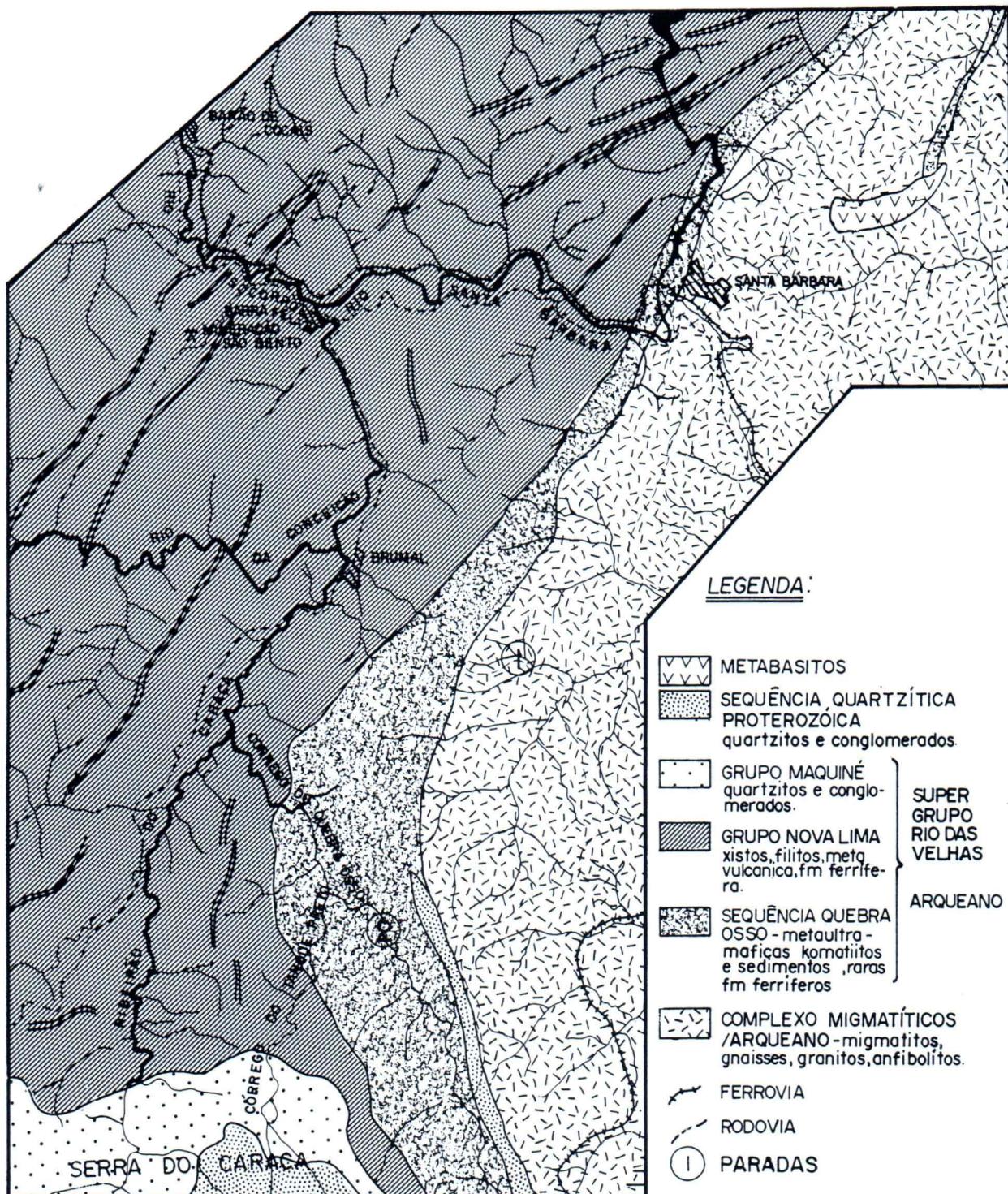
Falha inferida

Falha definida

● Áreas objeto desta excursão

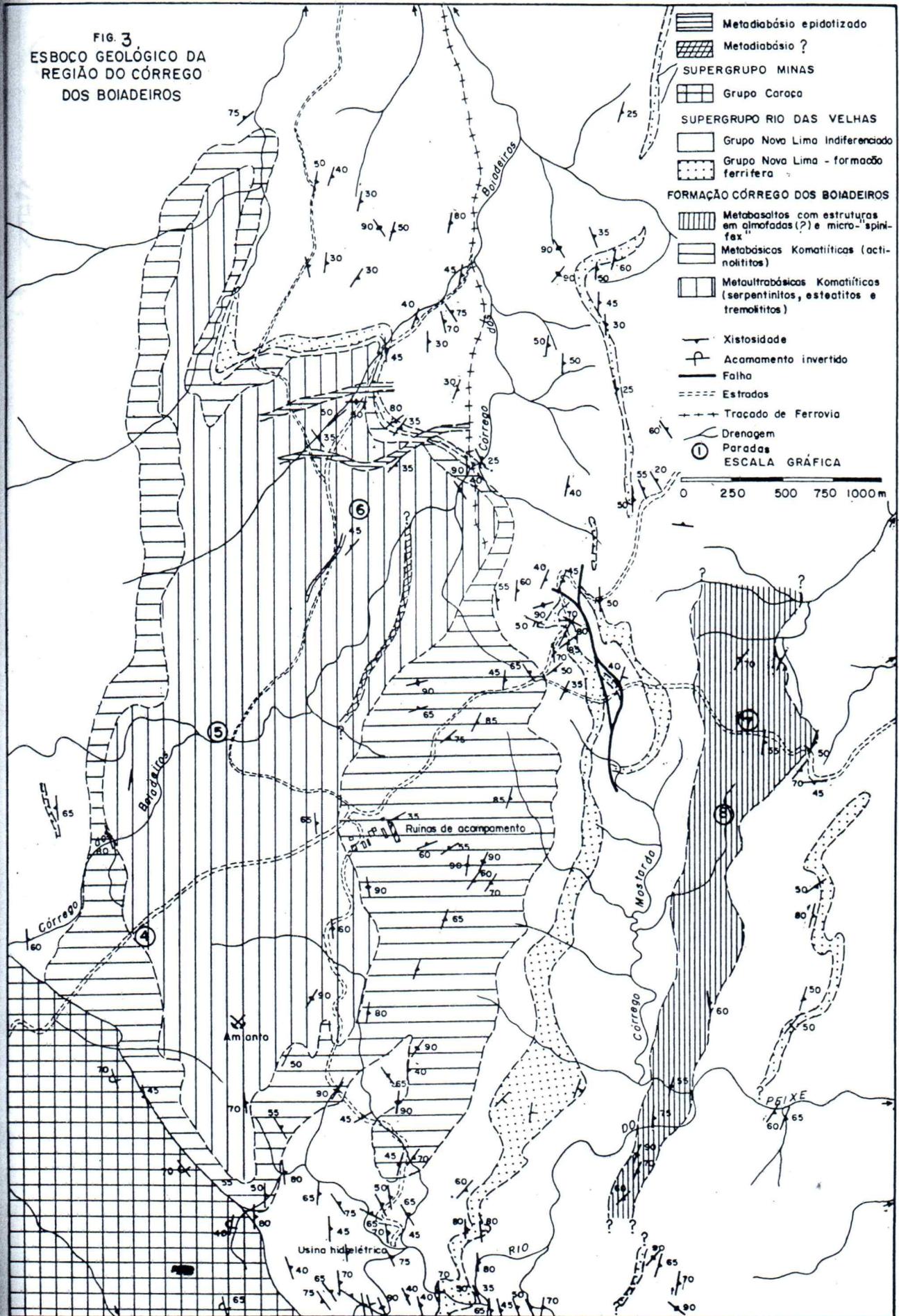
- ① Córrego Quebra-Osso
- ② Córrego dos Boiadeiros
- ③ Congonhas do Campo
- ④ Piumhi
- ⑤ Alpinópolis

MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DE SANTA BÁRBARA - FIG.2



(SICHEL, S.E. 1983)

FIG. 3
ESBOÇO GEOLÓGICO DA
REGIÃO DO CÓRREGO
DOS BOIADEIROS



BELO HORIZONTE

FIG. 4 - REGIÃO DE CONGONHAS
ESBOÇO GEOLÓGICO

(BASEADO EM GUILD, 1960)

1000 0 2000 m

CONGONHAS

+ 8

RIO DE JANEIRO

SUPER-GRUPO RIO DAS VELHAS
GRUPO NOVA LIMA



XISTOS VERDES. LOCALMENTE ALTERNAM-SE COM ESTEATITOS (st) TALCO-XISTOS (ts) E ITABIRITOS (it). CORRESPONDEM PROVÁVELMENTE A VULCANITOS MÁFICOS E ULTRAMÁFICOS.

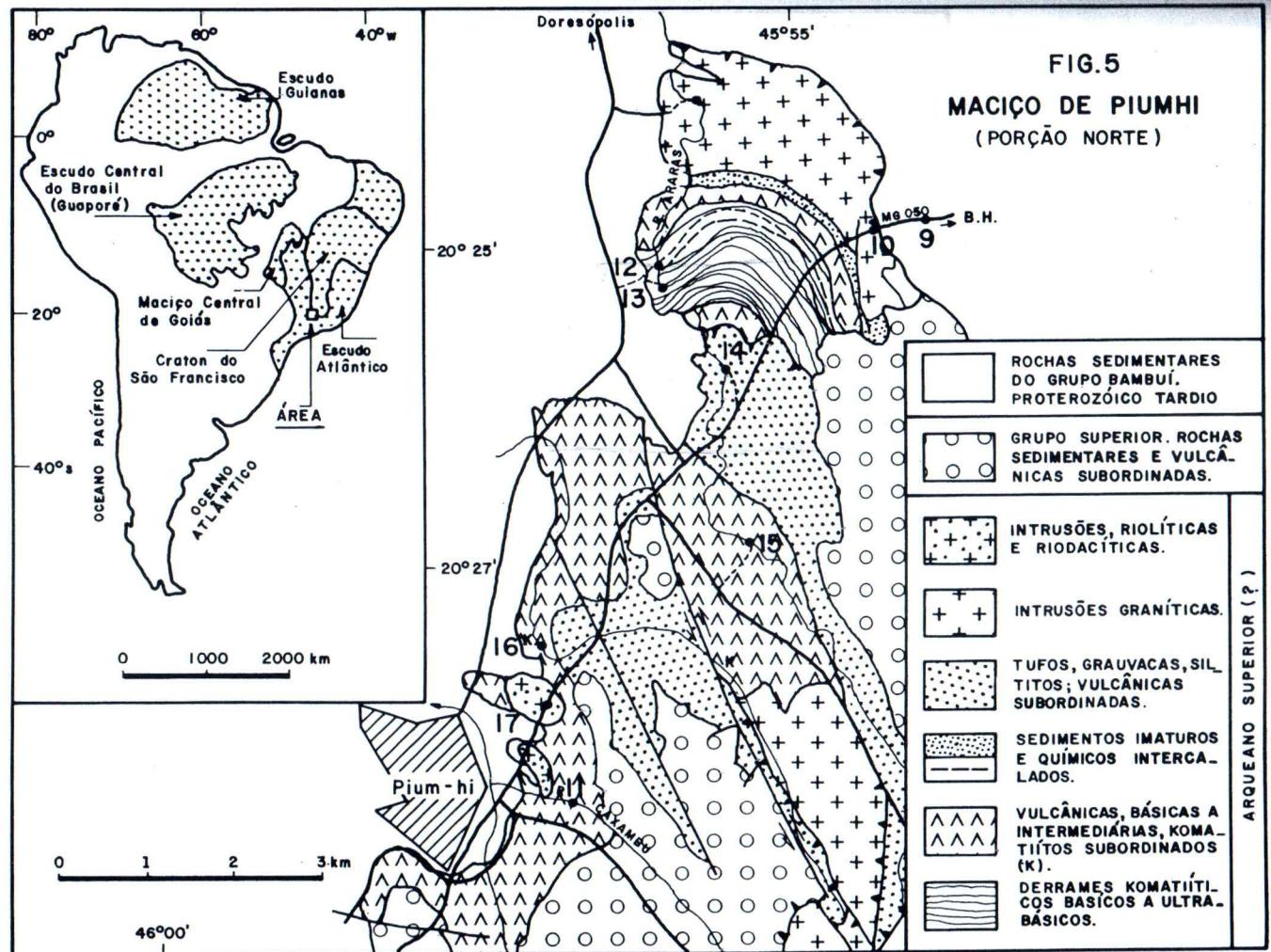


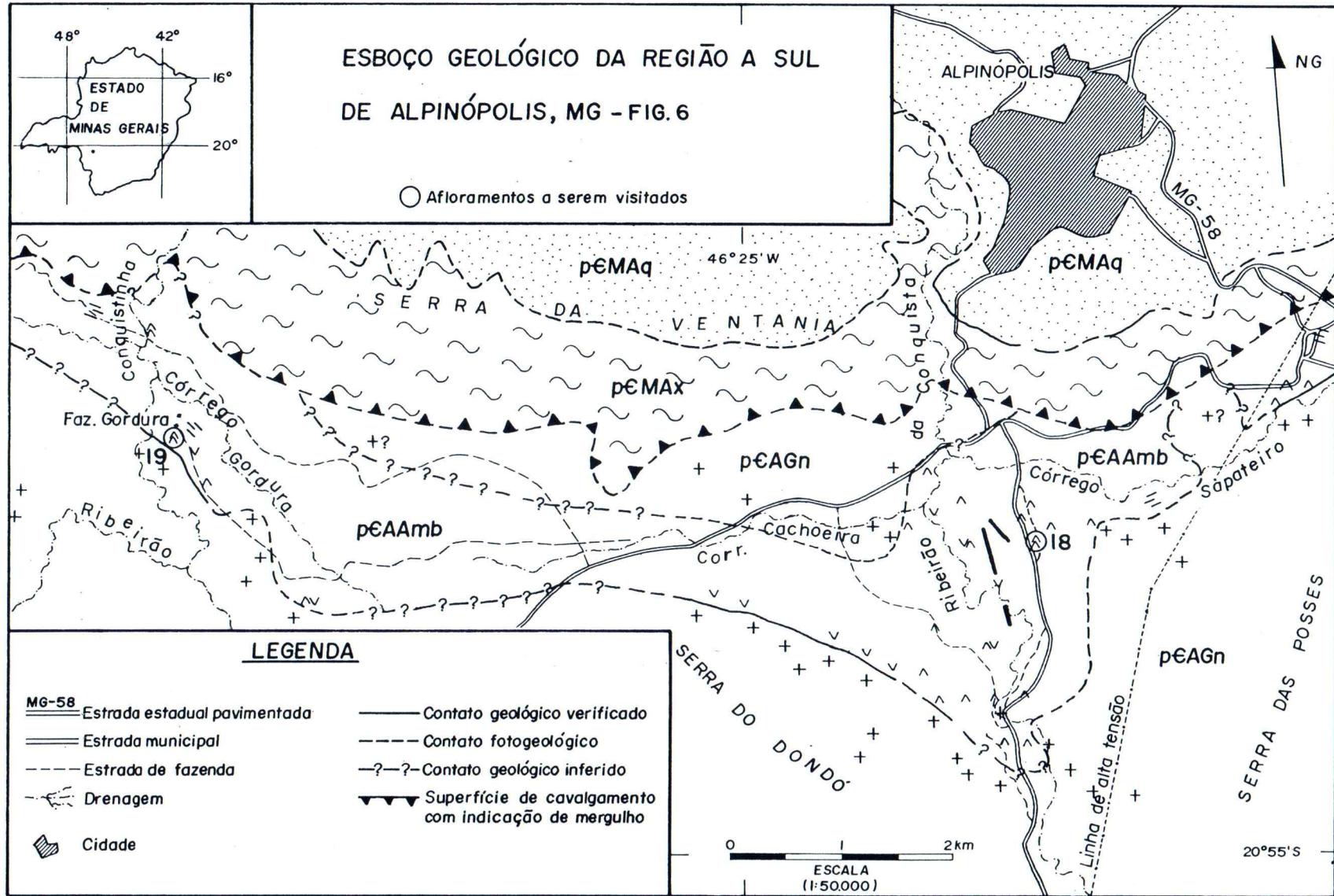
ESTEATITOS, SERPENTINITOS E TALCO-XISTOS. ALMOFADAS E VULCANO-CLASTITOS ULTRAMÁFICOS LOCALMENTE PRESERVADOS, INDICANDO A ORIGEM ÍGREA EXTRUSIVA (KOMATITOS).



ROCHAS INTRUSIVAS.
DOMO E STOKS DE COMPOSIÇÃO GRANODIORÍTICA.

FIG.5

MACIÇO DE PIUMHI
(PORÇÃO NORTE)



LITOLOGIAS

pEMA

q Quartzitos

~x Micaxistos, filitos, calcários

pEAGn

+ Gnaisses granodioríticos e granitóides indiferenciados

pEAAMB

^ Ultramáficas

vv Máficas

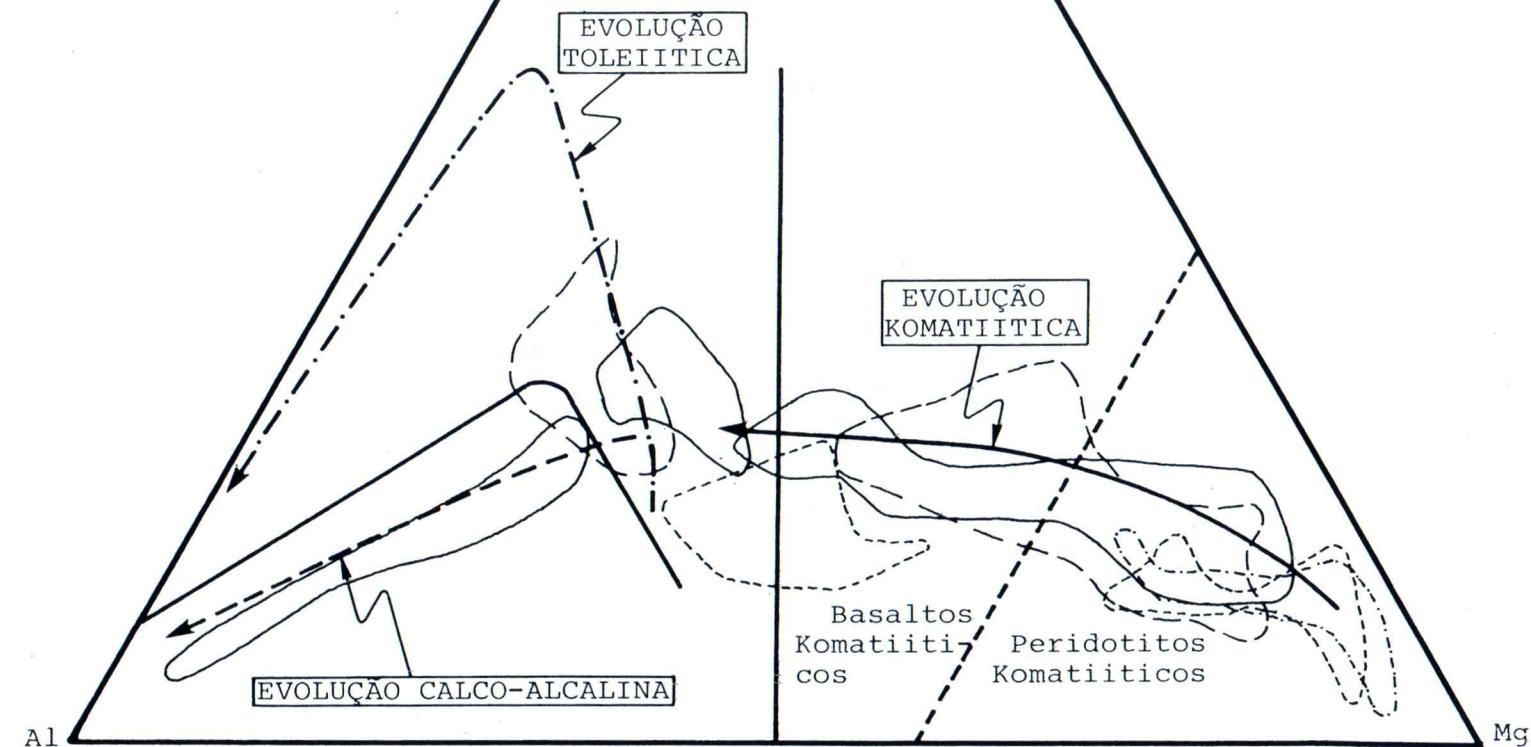
- Metassedimentos indiferenciados

— Formação ferrífera bandada (BIF)

^ Ultramáfica com textura spinifex

FIGURA 7

DIAGRAMA CATIONICO DE JENSEN

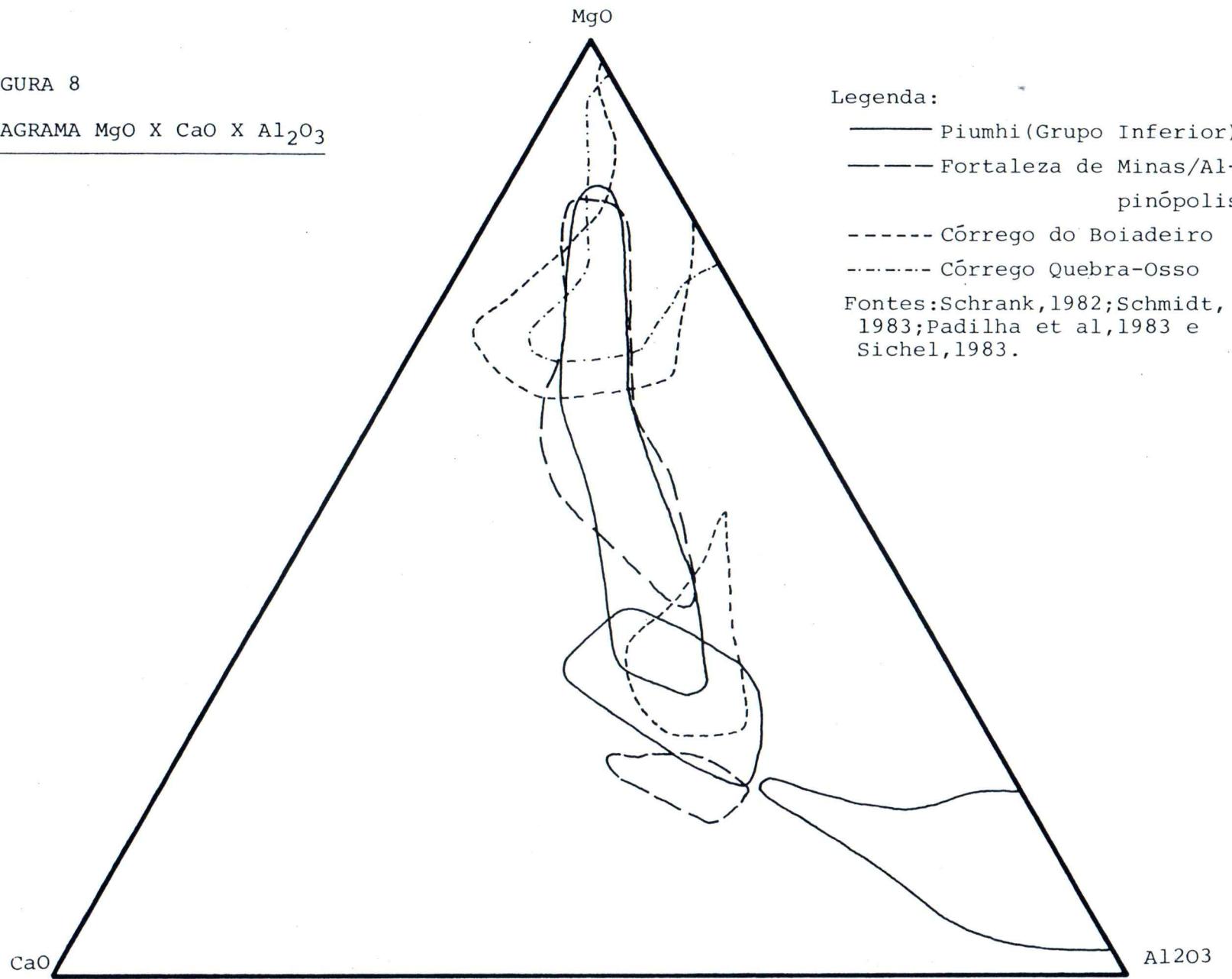


Legenda:

- Piumhi (Grupo Inferior)
- - - Fortaleza de Minas/Alpinópolis
- - - Córrego do Boiadeiro
- - - Córrego Quebra-Osso

Fontes: Schrank, 1982; Schmidt, 1983; Padilha et al, 1983 e Sichel, 1983.

FIGURA 8

DIAGRAMA MgO X CaO X Al₂O₃

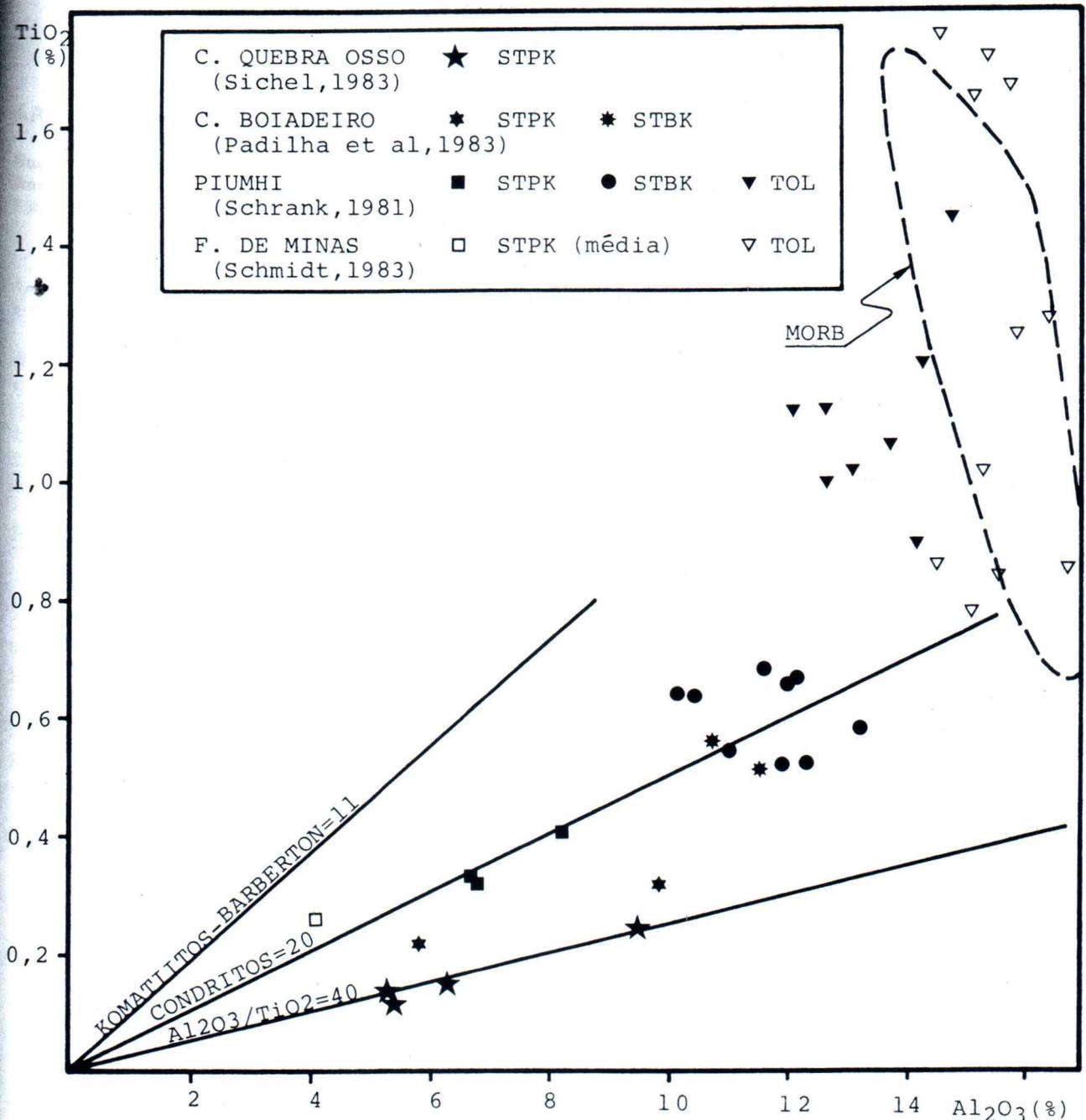


Figura 9. Diagrama $\text{TiO}_2 \times \text{Al}_2\text{O}_3$ para komatiitos com textura spinifex (STPK), basaltos komatiíticos com textura spinifex (STBK) e toleietos (TOL) de Minas Gerais. Campo dos basaltos de cadeias meso-oceânicas (MORB) é mostrado para comparação. Discussão no texto.