

# EVOLUÇÃO PETROLÓGICA E ESTRUTURAL DA PORÇÃO ORIENTAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS E SUAS IMPLICAÇÕES GEOTECTÔNICAS

Antonio G. Costa\*; Carlos A. Rosière\*; Lydia M. Lobato\* & Fernando V. Laureano\*\*

## ABSTRACT

A metamorphic terrain with high-grade rocks of the Atlantic Metamorphic Belt underlies the eastern part of Minas Gerais State, from south of the town of Manhuaçu to Caratinga. This terrain comprises peraluminous gneisses, igneous and meta-igneous rocks. Granulites occur as small nucleus and vary in composition between peraluminous and basic to intermediate, the latter represented by enderbitic mobilizite. Their formation, as well as that of migmatites of granitic composition, is considered to be related to mafic and ultramafic intrusions. In basic granulites, garnet-bearing mineral assemblages, with the development of corona textures, attest the effects of granulite facies metamorphism, although igneous assemblages and textures are still well preserved. Retrograde alteration assemblages are locally preserved. Despite of the diversity of metamorphic phenomena in this area, T and P calculations reveal consistent results. Temperature and pressure calculations were undertaken in basic granulites slightly affected by the retrograde process. Using  $\text{Fe}^{+2}/\text{Mg}$  exchange between garnet and orthopyroxene as geothermometers and the exchange reaction:  $\text{An} + \text{En} = 2/3\text{Pyr} + 1/3\text{Grs} + \text{Qz}$  as geobarometers peak metamorphic temperatures in the range of 660 to 760°C, at 4,8 to 6,6 Kbar are obtained. Mineral, textual and geochemical evidences indicate that the metamorphic conditions have changed with time and suggest that the formation of the granulites is caused by the underplating of magmas, probably mantle-derived, at the base of the crust. Several ratios between major, trace and rare earth elements have been employed. The basic rocks are similar in composition to tholeites generated in within-plate tectonic settings. Positive correlations between  $\text{K}_2\text{O}$  and  $\text{SiO}_2$  and negative between  $\text{MgO}$  and  $\text{SiO}_2$  in fresh gabbro-noritic rocks and enderbites indicate magmatic differentiation. The geochemical character of altered basic rocks displays an unsystematic dispersion in correlation diagrams. This lack of correlation coupled with field and petrographic suggest the effects of a late metasomatic event on these rocks. This metasomatism comprises the dispersed development of charnockitic rocks with large K-feldspars and quartz crystals. Later dynamic processes gave place to subvertical shear zones with a well defined foliation.

## INTRODUÇÃO

Parte das rochas aflorantes na Porção Oriental do Estado de Minas Gerais integram, segundo Schobbenhaus et al. (1984), o denominado Complexo Migmatítico-granulítico de Minas Gerais. Este Complexo é, segundo estes autores, caracterizado por uma associação de rochas polimetamórficas de médio a alto grau, de idade provavelmente arqueana, retrabalhadas nos ciclos Transamazônico e Brasiliano. A outra parte está inserida no Complexo Barbacena-Paraíba do Sul de Fontes et al. (1978).

Almeida & Hasui (1984) descrevem essa porção do estado, como fazendo parte da denominada Província Mantiqueira. Para o seu setor setentrional, esses autores descrevem a presença de rochas do Complexo Juiz de Fora (Barbosa & Grossi Sad 1983), em parte tectonicamente justapostas a um complexo gnáissico-granítico e à rochas do Complexo Jequitinhonha definido por Fontes et al. (1978).

Trabalhos de reconhecimento regional e o mapeamento de áreas selecionadas (Fig. 01), vêm

sendo desenvolvidos, com o objetivo de se obter número suficiente de dados, que possibilitem uma correta caracterização dos litotipos aflorantes, bem como a identificação e interpretação dos processos envolvidos na evolução de toda esta porção situada a leste do Cráton do São Francisco.

## CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA REGIONAL

Conforme esboço modificado de distribuição de tipos litológicos da Porção Oriental do Estado de Minas Gerais (Fig. 02), foram identificados granitos peraluminosos ( $\text{cg}_1$ ) tanto para as regiões de Itaobim, Padre Paraíso e Águas Formosas, ao norte, quanto para as de Mangalô e Belo Oriente, no médio Vale do Rio Mucuri. Estas rochas são portadoras de minerais tais como cordierita e granada e mostram-se localmente foliadas.

Em direção leste, observa-se que os tipos granitóides ( $\text{cg}_1$ ) passam a gnaisses migmatíticos metatexíticos e, a leste da cidade de Águas Formosas, ao norte e da localidade de Mangalô, ao sul, estes últimos gradam para gnaisses

\* CPMTC/IGC/UFGM

\*\* Bolsista de Iniciação Científica

peraluminosos ( $ck_1$ ). Evidências de campo, critérios mineralógicos e petrográficos sugerem que parte destes gnaisses, muito provavelmente, constituíram os protólitos para os granitos peraluminosos do domínio ( $cg_1$ ) aflorantes a oeste.

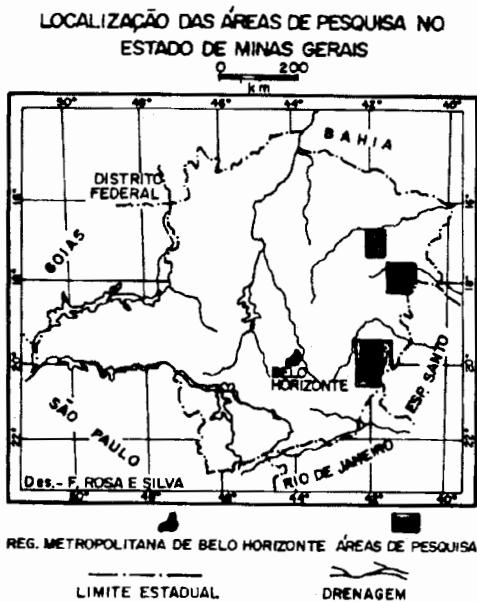


Figura 01: Localização das áreas de pesquisa na porção Oriental do Estado de Minas Gerais.

Esses mesmos granitos peraluminosos passam, em direção oeste, a gnaisses migmatíticos, como os da região de Itinga. Estes gnaisses assemelham-se textural e mineralogicamente aos do domínio ( $ck_1$ ) e correspondem à porção de mais alto grau metamórfico da sequência supracrustal (ss) composta por rochas peraluminosas, quartzíticas e por intercalações calciosilicáticas que integram a Formação Salinas (Pedrosa-Soares et al. 1992), e que, segundo Costa (1987), resultaram de um evento metamórfico do tipo intermediário de baixa pressão.

Dentro do domínio ( $cg_1$ ), representado por grandes volumes de granitóides do tipo S, pertencentes ao Domínio Jequitinhonha (Fontes et al. 1978; Costa 1987; Fernandes 1991; Costa et al. 1992) e que ocupam uma porção delimitada a leste e a oeste por rochas gnássicas (Fig. 02), ocorrem de forma localizada, nas regiões de Padre Paraíso e médio Vale do Rio Mucuri, porções de litotipos do domínio ( $\alpha$ ). Estes têm matriz fina, coloração verde-escura, às vezes, com presença de megacristais de K-feldspato e de quartzo. Na ausência destes megacristais, descreve-se estas rochas textural e mineralogicamente como hiperstênio-tonalitos (enderbitos), por mostrarem composição tonalítica e conterem plagioclásio, quartzo e ortopiroxênio (hiperstênio) como

mineralogia essencial e associações secundárias a anfíbolio e biotita.

Os contatos entre os hiperstênio-tonalitos e granada-cordierita-granitos do domínio ( $cg_1$ ) são, principalmente na região de Padre Paraíso, difusos e caracterizados pela presença dos megacristais de K-feldspato e de quartzo. Na região de Mangalô, e em direção a áreas de exposição dos mesmos tipos granitóides do domínio ( $cg_1$ ), aflorantes a sul e a oeste, verifica-se uma continuada mudança de coloração, granulação e mineralogia para as rochas hiperstênio-tonalíticas. Do tipo porfiróide esverdeado, passam a aflorar rochas de coloração rósea-claro e de granulação grosseira, com total substituição dos constituintes máficos. Nos primeiros casos, estas rochas foram descritas, com base em critérios petrográficos, como sendo charnockitos. Nos últimos, como K-feldspato granitos de grão grosso.

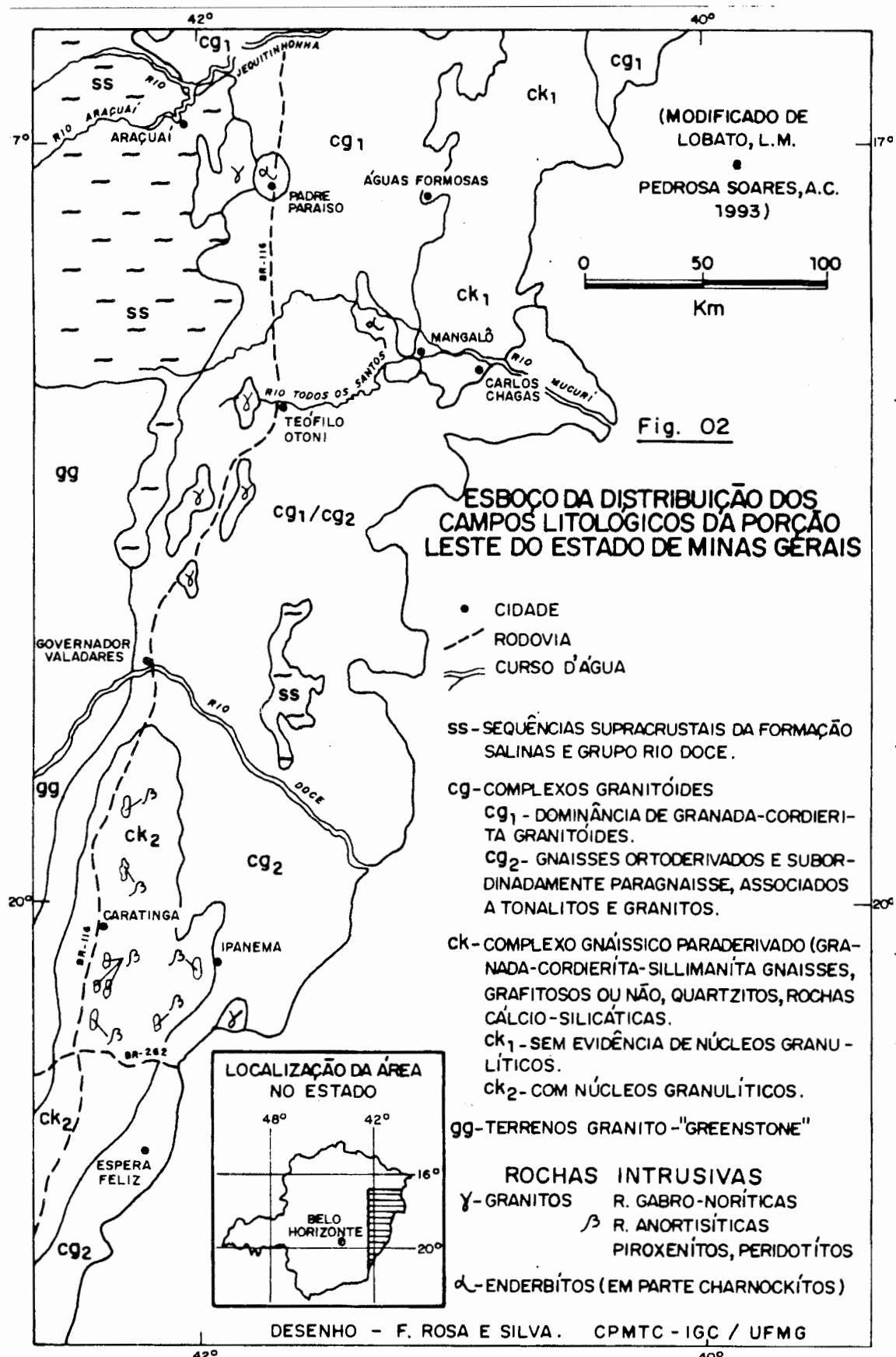
Encraves com textura granoblástica, granulação fina, composição básica e constituídos por associações a Ca-plagioclásio, hiperstênio, e mais raramente clinopiroxênio (diopsídico) e granada, foram encontrados em hiperstênio-tonalítos da região de Mangalô, no médio Vale do Rio Mucuri.

Mais ao sul, a região de Caratinga-Manhuaçu, inserida a nível regional no denominado Complexo Metamórfico Atlântico (Leonardos & Fyse 1974), é caracterizada pela relativa ausência de grandes volumes de rochas graníticas, pelo predomínio de extensas sequências de rochas metamórficas paraderivadas ( $ck_2$ ) e por corpos básico-ultrabásicos ( $\beta$ ) a intermediários claramente intrusivos ( $\alpha$ ).

Esta região faz parte da porção mineira do Complexo Juiz de Fora de Barbosa & Grossi Sad (1983), descrito por estes e em parte por outros autores (Ebert 1955b; Oliveira 1983; Almeida & Hasui 1984), como sendo um cinturão granulítico constituído por faixas paralelas que prosseguiriam até a região de Governador Valadares. No atual trabalho é relatado para esta região, a predominância de extensas áreas de gnaisses do fácies anfibolito alto, associados a apenas pequenos núcleos granulíticos. Foram observados para esta região apenas pequenos núcleos granulíticos, associados às extensas áreas de gnaisses do fácies anfibolito.

## LITOESTRATIGRAFIA DA REGIÃO DE CARATINGA-MANHUAÇU

Esta região, correspondendo no esboço da Fig. 02 ao domínio ( $ck_2$ ), por ser considerada neste trabalho área-chave para o entendimento dos processos relacionados à evolução geotectônica de toda a porção leste do Estado de Minas Gerais, vem sendo mapeada na escala 1:25.000 e neste trabalho será tratada com detalhe.



Através de dados obtidos a partir dos trabalhos de mapeamento, em andamento verifica-se nesta região a ocorrência predominante de gnaisses

peraluminosos, constituídos por biotita, granada, sillimanita, cordierita, quartzo e feldspatos, como observado a leste de Águas Formosas e de Mangalô,

no domínio (**ck<sub>1</sub>**). Da sequência paraderivada observada fazem parte biotita-granada, biotita-sillimanita-granada e biotita -cordierita-sillimanita-granada gnaisses, quartzitos, intercalações calciosilicáticas e estreitos níveis psamíticos. Granulitos peraluminosos mostrando textura granoblástica e granulação fina, destacam-se como porções de ocorrência local em meio aos gnaisses peraluminosos. Em estreitas zonas, granulitos e gnaisses dão lugar à rochas miloníticas de granulação fina e foliação bem marcante.

Rochas metamórficas ortoderivadas e de textura gnáissica, ocorrem de forma subordinada, em relação aos litotipos paraderivados e são caracterizados pela presença de plagioclásio, hornblenda, biotita e mais raramente de granada.

A exemplo dos granulitos peraluminosos, os de composição básica têm também ocorrência localizada. São de granulação fina e coloração verde acinzentada e, em função de processos deformacionais ocorridos (Costa et al. 1993b), mostram-se comumente foliados. A presença de porfiroclastos de plagioclásio e de hiperstênio é diagnóstica da atuação destes processos.

Em toda sua extensão, a região é caracterizada pela presença de rochas básicas e ultrabásicas ( $\beta$ ) (Costa et al. 1992; Costa et al. 1993a) ocorrendo na forma de corpos isolados e encaixados, tanto em gnaisses peraluminosos, quanto naqueles de composição básica.

Esses litotipos com composição variando de básica a ultrabásica, identificados como sendo gabros, leucogabros, noritos, piroxenitos e tipos anortositicos, mostram textura e mineralogia típicas da fase magmática, ora total ou parcialmente preservadas, ora totalmente obliteradas. Os tipos ocorrem ou na forma de diques deformados e descontínuos, ou como corpos de pequenas dimensões. Normalmente, encontram-se associados aos tipos granoblásticos ou gnássicos, de granulação fina a média e portadores de associações minerais de origem metamórfica.

Rochas intrusivas com composição intermediária, variando de tonalítica a granodiorítica, são raras na faixa Caratinga-Manhuaçu e comuns a leste desta faixa (Angeli 1988; Horn 1993).

A ocorrência de intrusivas ácidas (composição granítica) é restrita. Quando aflorantes, estas rochas ocorrem na forma de diques centimétricos, que cortam discordantemente a foliação regional. Poucos corpos mostrando maiores dimensões foram também observados. Nestes granitóides, foi identificada a presença de granada.

## MAGMATISMO

O magmatismo manifesto na região de Caratinga-Manhuaçu tem caráter essencialmente básico. Dos litotipos gerados, são mais comuns aqueles que mostram apenas feições ígneas

reliquiares. Estes tipos caracterizam-se por apresentarem matriz de granulação fina, com presença de cristais de granulação média a grossa de plagioclásio ou de piroxênio, quase sempre hipidiomórficos. A feição textural predominante na rocha é a granoblástica.

Já aqueles litotipos que, em função da ausência de registros deformativos, mostram ainda texturas ígneas preservadas, e que, portanto, podem ser considerados como sendo de idade mais recente em relação aos demais, são de granulação grossa e mostram texturas do tipo granular hipidiomórfica, de aspecto sub-ofítico.

A mineralogia destas rochas é caracterizada por minerais tais como plagioclásio, ortopiroxênio, clinopiroxênio, olivina e granada. Os litotipos básicos variam desde os termos gabróicos até os noríticos, tendo sido ainda encontrados tipos ultrabásicos, classificados como piroxenitos.

Em algumas destas rochas, que mostram texturas ígneas, não raramente ocorrem alternâncias de bandas anortositicas e piroxeníticas.

Termos mais diferenciados são de ocorrência restrita e de composição quartzo-diorítica a tonalítica. Rochas graníticas portadoras de granada têm ocorrência restrita.

## METAMORFISMO

A interpretação, em termos de evolução metamórfica para terrenos que contêm rochas de alto grau, é sempre complexa em função da interferência de diversos outros processos, tais como os de migmatização e os deformativos.

Na área evidenciam-se eventos metamórficos distintos ocorridos em condições de fácies granulito e anfíbolito. A presença de paragêneses minerais tais como:

- a. ortopiroxênio + plagioclásio;
- b. ortopiroxênio + clinopiroxênio + plagioclásio ± granada;
- c. granada + sillimanita + K-feldspato + quartzo;
- d. cordierita + hercynita + K-feldspato + quartzo ± granada;

atestam as condições de alto grau para o pico do evento metamórfico granulítico ocorrido na área.

Outras paragêneses:

- e. biotita + granada + plagioclásio + quartzo;
- f. biotita + cordierita + plagioclásio + K-felds + quartzo

g. hornblenda + plagioclásio ± biotita ± granada;

evidenciam o evento de condições do fácies anfíbolito.

Dados geotermobarométricos preliminares, obtidos a partir de amostras de rochas granulíticas básicas da região, mostrando apenas incipientes substituições de suas mineralogias primárias, indicam condições de P entre 4,8 e 6,6 kbar e de T entre 660 a 760°C, para o evento de alto grau,

responsável pela gênese destas rochas. Estes dados foram obtidos a partir da utilização do par granada-ortopiroxênio, como geotermômetro, e do par plagioclásio-granada como geobarômetro. Os dados aqui apresentados mostram uma concordância com aqueles obtidos por Jordt Evangelista (1984) para a região de Acaia e são ligeiramente inferiores aos obtidos por Schulz-Kuhnt (1985) para os granulitos básicos da região de Abre Campo, ambas situadas a oeste da área aqui investigada. Estes dados situam-se dentro do intervalo de condições do fácie granulito, como proposto por Bohlen (1983) e Harley (1989).

Resultados do estudo das inclusões fluidas, conduzidos no âmbito deste projeto, em cristais de feldspatos e quartzo em amostras de encravos

granulíticos da região do Mangalô, situada ao norte (Martinez et al. 1992), mostram fortes evidências da existência de um fluido original de composição predominantemente carbônica de elevada densidade (0,98 a 0,93 g/cm<sup>3</sup>), com possível presença de nitrogênio.

As isócoras correspondentes a essas densidades (Fig.03) se encontram no campo do fácie granulito de baixa pressão de Green & Ringwood (1972), e cortam o limite do campo definido por Saxena (1977) para as condições de formação de rochas granulíticas. Martinez et al. (1992) estabeleceram ainda uma comparação entre o campo das isócoras obtidas e o das condições de formação de rochas granulíticas da Bahia, obtidas por Barbosa (1987).

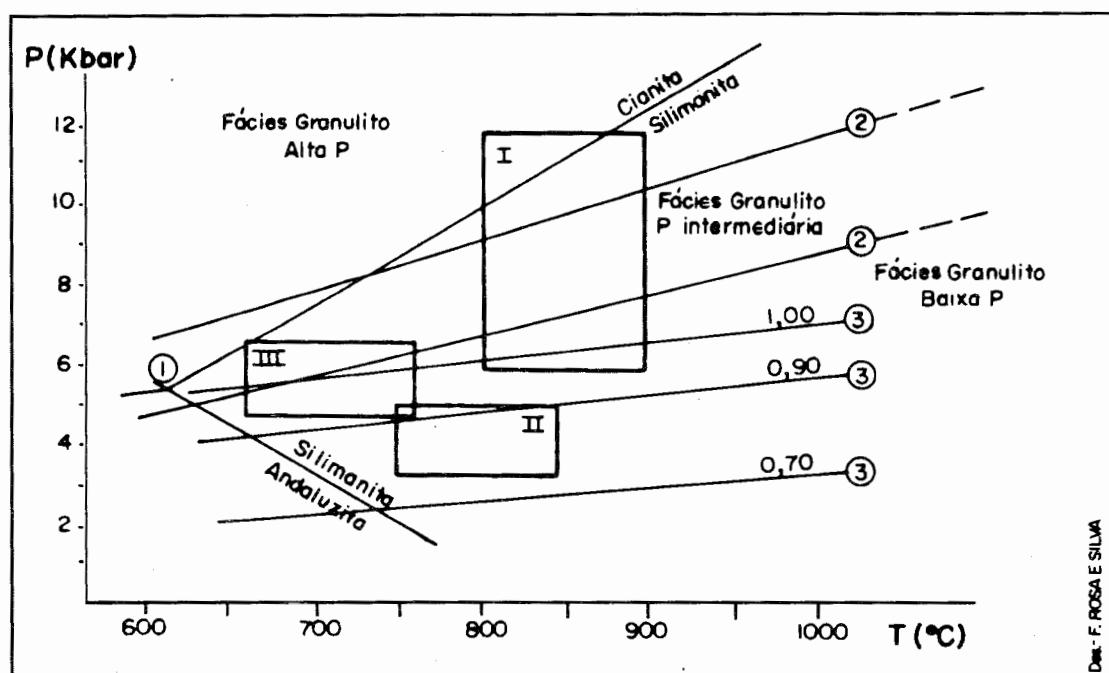


Figura 03: Diagrama de Pressão e Temperatura e isócoras representativas da evolução das inclusões carbônicas da região do Mangalô: (I): campo de formação de rochas charnockíticas, segundo Saxena (1977); (II) campo de formação para rochas granulíticas da Bahia, segundo Barbosa (1987); (III): condições do metamorfismo de fácie granulito na região de Caratinga-Manhuaçu; (1) ponto triplo dos silicatos aluminosos segundo Richardson (1969); (2) limites entre os campos granulíticos segundo Green & Ringwood (1972); (3) isócoras das inclusões fluidas carbônicas (os números correspondem aos valores das densidades de CO<sub>2</sub> em g/cm<sup>3</sup>).

Como demonstrado na Fig. 03, verifica-se que o campo das condições de formação para as rochas granulíticas pesquisadas neste trabalho, posiciona-se entre os demais, com alguma superposição com o das rochas granulíticas da Bahia. A concordância entre os dados geotermobarométricos obtidos para as amostras da região investigada, e os das inclusões fluidas para as amostras da região de Mangalô, reforçam as características do evento granulítico apresentadas neste trabalho.

Na área em questão, a interferência de processos geradores de paragêneses hidratadas, resultou na formação de hornblenda, carbonato, bastita e

simplictitos a biotita e quartzo a partir de associações geradas em condições de fácie granulito. Processos de fusão parcial em diversos níveis, envolvendo rochas gnáissicas regionais peraluminosas ou não, ou ainda aqueles que ocorreram sob condições tanto de alto grau, gerando mobilizados de composição intermediária, quanto da fase de anfibolitização, bem como eventos metassomáticos tardios, também contribuiram para mascarar os processos granulíticos transcorridos em estado sólido.

Evidências de um evento metamórfico posterior, associado à deformações em regime dúctil, se

traduzem na área pela presença de rochas miloníticas, dispostas segundo zonas de cisalhamento de direção regional NS e portadoras de associações minerais típicas para os fácies anfibolito e raramente xisto-verde.

Estes processos deformacionais ocorridos, posteriormente à fase de granulitação e à parte das fases de migmatização, também contribuíram com a obliteração das características do evento de mais alto grau.

A partir da identificação de diversas associações minerais, em litotipos da área em estudo, verifica-se que parte das mesmas são resultantes da atuação direta de processos metamórficos de caráter progressivo. Neste trabalho, os gnaisses peraluminosos e aqueles de composição básica e ainda gnaisses seguramente ortoderivados, são interpretados como tendo sido formados em um evento metamórfico mais antigo do que aquele responsável pela gênese dos granulitos investigados. O regime metamórfico progressivo gerador destes tipos gnássicos, atingiu no máximo as condições do fácies anfibolito.

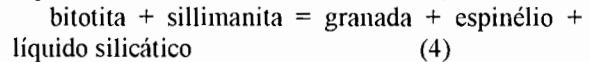
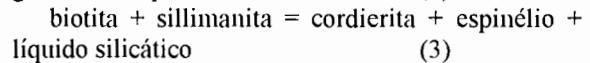
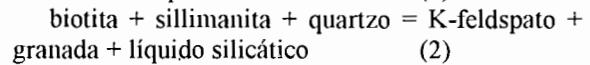
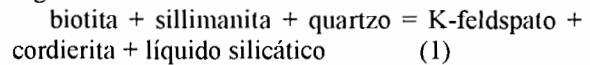
O evento metamórfico de alto grau, ocorrido sob condições do fácies granulito e aqui considerado de idade mais recente, em relação ao evento gerador dos gnaisses regionais, mostra na área uma provável correlação com um magmatismo básico-ultrabásico, de caráter toleítico. Este magmatismo encontra-se representado por inúmeros corpos de composição gabonorítica a piroxenítica e na região, as rochas com paragêneses granulíticas têm ocorrência restrita às áreas próximas destes corpos básicos.

Postula-se que da transferência de calor para as rochas gnássicas encaixantes, ao longo do processo de resfriamento dos tipos básico-ultrabásicos, somado àquele gerado por decaimentos dos elementos radioativos das rochas pré-existentes na crosta, desenvolveram-se paragêneses minerais do fácies granulito. Para a área considera-se que o metamorfismo granulítico antecedeu e em parte deve ter sido concomitante à cristalização dos tipos ígneos. Esse processo envolveu uma consequente migração de isotermas, decorrente da transferência de magmas de origem mantélica para a crosta. Na área, em função dos dados já obtidos pode-se considerar que prováveis influxos de CO<sub>2</sub>, a exemplo de outras áreas (Newton et al. 1980; Janardhan et al. 1982), quer oriundos do manto ou gerados na crosta por envolvimento de grafita pré-existente e retrabalhada em condições oxidantes, contribuiram para com o processo metamórfico sob condições de fácies granulito.

Powers & Bohlen (1985) concluem que processos de fusão parcial contribuem com a significativa redução da atividade da H<sub>2</sub>O em terrenos granulíticos, ou como consequência da formação de líquidos nestes terrenos ou pela passagem de magmas através dos mesmos, provocando efetivamente a desidratação das rochas encaixantes.

Processos de fusão parcial ocorridos na área são evidenciados pela presença de pequenos volumes de mobilizados tonalíticos, associados aos tipos básicos e pela presença comum de mobilizados de composição granítica, associados aos paragnaises peraluminosos. Estes processos foram em parte desencadeados pela migração de magmas e fluidos carbônicos através da crosta e direta ou indiretamente contribuiram com o processo de granulitação, através da redução da presença de H<sub>2</sub>O disponível.

A presença nas rochas peraluminosas investigadas de associações envolvendo cordierita, sillimanita, granada, espinélio e líquidos silicatados pode ser entendida através das reações de fusão propostas por Powers & Bohlen (1985) para a região de Adirondacks:



Entre os conjuntos de reações [(1) - (2)] e [(3) - (4)] ocorre um aumento da temperatura em direção ao segundo, com variações de pressão determinando ora só a presença de granada, ora só de cordierita. Na área foram também observadas rochas contendo granada e cordierita estáveis. De ocorrência local observou-se a substituição de granadas por uma segunda geração de cordieritas. Ainda segundo Powers & Bohlen (1985) a coexistência destas fases minerais sugere para a atividade da água valores da ordem de 0,01 a 0,17.

Na região de Ipanema, situada a leste da região de Caratinga, Angeli (1988) descreve, ao contrário do que foi observado na região de Caratinga-Manhuaçu, a formação pouco expressiva de mobilizados quartzo-feldspáticos a partir de gnaisses peraluminosos. Este autor descreve ainda, que os gnaisses migmatíticos são mais comuns a leste de Ipanema e concentram-se nas áreas próximas às rochas da Suite Intrusiva de Santa Rita do Mutum, constituída por tonalitos, granodioritos e granitos. Para este autor estas intrusões seriam responsáveis pelo processo da migmatização.

A maior concentração de rochas intrusivas de caráter básico-ultrabásico na Faixa Caratinga-Manhuaçu, contribuiu não só com a geração de rochas granulíticas nesta região, em função da passagem de parte de magmas precursores através deste terreno, mas também com os processos de fusão parcial.

## GEOQUÍMICA

A apresentação e discussão de resultados de análises químicas para o conjunto de rochas básicas da região de Caratinga-Manhuaçu tem, além do

objetivo da sua caracterização geoquímica, a pretensão da formulação de um modelo genético-evolutivo, envolvendo associações semelhantes de rochas encontradas nas regiões de Padre Paraíso e Mangalô, situadas a norte.

O caráter toleítico para os eventos magmáticos básicos ocorridos na área é demonstrado nos diagramas de Irvine & Baragar (1971) e de Jensen (1976), conforme demonstrado na Fig. 04, onde foram lançados dados referentes a amostras de rochas investigadas.

As amostras que ocupam o campo cálcio-alcalino (Fig. 4a), ou correspondem àquelas de litotipos que sofreram transformações impostas em decorrência de processos deformacionais (\*), ou

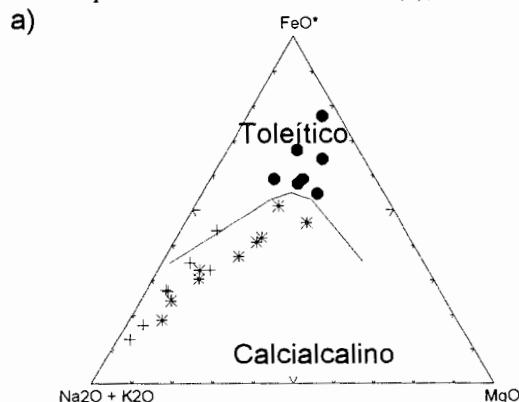


Figura 04: Diagramas AFM (Irvine & Baragar, 1971) e  $Al_2O_3 \times FeO + TiO_2 \times MgO$  (Jensen, 1976), com campos e linhas discriminatórias, para rochas gabbro-noríticas (•); rochas básicas alteradas (\*) e rochas hiperstênio-tonalíticas charnockíticas (+) investigadas.

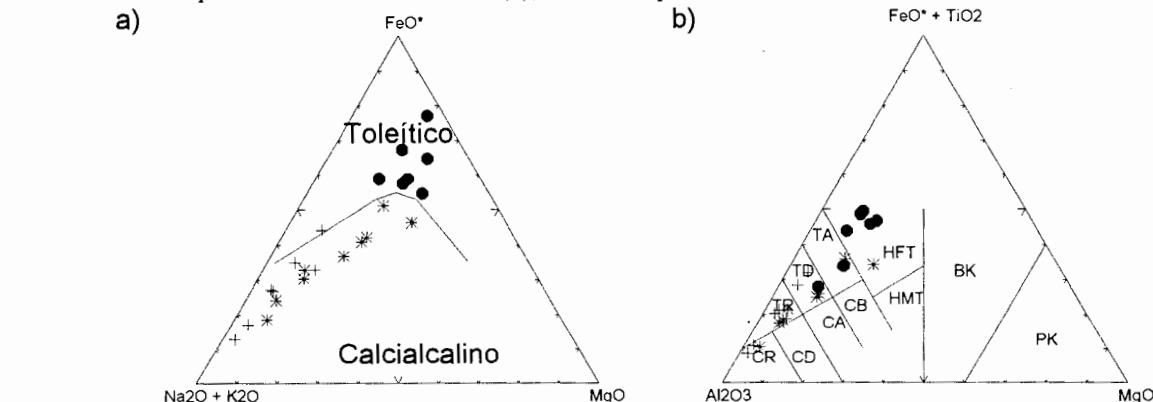
Rochas das regiões de Padre Paraíso e de Mangalô, primariamente de composição hiperstênio-tonalítica (+), mas mostrando evidências da atuação de processos metassomáticos, que teriam sido os responsáveis por sua charnockitização e rochas básicas alteradas da região de Caratinga-Manhuaçu (\*), assemelham-se mineralogicamente e quimicamente aos tipos granulíticos gabbro-noríticos (•) investigados.

As diferenças observadas se traduzem em função dos altos teores em  $SiO_2$  (60,37 a 70,24%) e  $K_2O$  (2,94 a 4,64%), encontrados nas primeiras, quando comparados com os tipos gabbro-noríticos (•) não alterados da região de Caratinga-Manhuaçu ( $SiO_2$ : 48,8 a 57,7% e  $K_2O$ : 0,07 a 0,78%). Ainda com base nestes dados, constata-se que as rochas gabbro-noríticas investigadas variam desde toleítos de baixo potássio a toleítos sub-alcalinos.

Os dados aqui apresentados estão em concordância com os apresentados por Barbosa & Grossi-Sad (1983) para a sequência de rochas básicas granulíticas da faixa de divisa entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, cujos teores médios são de 49,76% para  $SiO_2$  e 0,76% para  $K_2O$ . Verifica-se ainda uma concordância quanto ao caráter toleítico descrito para aquela sequência de rochas.

correspondem aos hiperstênio-tonalitos (+) (enderbitos) que, por processos metassomáticos, foram charnockitizados (Costa et al. 1991). Posteriormente, estas últimas foram, também intensamente deformadas.

Para as primeiras amostras (\*) verifica-se que as suas mineralogias primárias mostram-se extensamente substituídas por associações de minerais secundários, sendo possível apenas a identificação de restos preservados de minerais da fase magmática. No caso dos hiperstênio-tonalitos charnockíticos (+) verifica-se uma intensa K-feldspatização e silicificação da rocha, mas com preservação em alguns casos de sua mineralogia primária.



Discreta correlação positiva entre os conteúdos de  $K_2O$  e  $SiO_2$  e negativa entre  $MgO$  e  $SiO_2$ , para as amostras de hiperstênio-tonalitos charnockíticos das regiões de Padre Paraíso-Mangalô e gabbro-noríticas da região de Caratinga-Manhuaçu (Fig. 05a) também podem ser tomadas como indicativas de um possível trend de diferenciação entre estes litotipos. Nos diagramas envolvendo óxidos de elementos relativamente imóveis como  $TiO_2$  e  $Al_2O_3$  versus  $SiO_2$  (Fig. 05b), os termos gabbro-noríticos e os hiperstênio-tonalitos charnockíticos ocupam novamente campos independentes, mas para as amostras de rochas básicas alteradas observa-se uma grande dispersão em termos dos seus conteúdos em  $SiO_2$ .

Levando-se em conta a atuação de processos metassomáticos e deformacionais, posteriormente à granulitização e migmatização, com provável circulação de fluidos enriquecidos em LILE, o que é comprovado pelos teores elevados em K, Rb, e Ba, o aparente trend cálcio-alcalino demonstrado para parte destas amostras, pode ser interpretado como resultante da atuação dos processos de substituição mencionados, com consequente introdução e remobilização de elementos.

Para a área em estudo, comprova-se um intenso processo de introdução de alguns elementos (Si, K), com consequente hidratação das fases maficas presentes, como observado na região de Padre

Paraíso ao norte, mais raramente no médio Vale do Rio Mucuri (Mangalô) e em Caratinga-Manhuaçu, ao sul. Nestes casos, a substituição de cristais de ortopiroxênio por simplectitos a quartzo e biotita, hornblenda, carbonato e bastita, a substituição de cristais de plagioclásio por K-feldspato, de granadas por biotita, a presença de megacristais de quartzo de segunda geração e a constante presença de inclusões de cristais de ortopiroxênio e plagioclásio nos

megacristais de K-feldspato e de quartzo, confirmam esta hipótese.

As rochas granulíticas básicas analisadas mostram os seguintes intervalos de conteúdos em termos de elementos terras raras normativos em relação ao condrito:  $\Sigma\text{ETR}$  - 66,054 a 175,306;  $\Sigma\text{TRP}$  - 4,70 a 21,694;  $\Sigma\text{TRL}$  - 61,350 a 112,965;  $\text{La/Sm}$  - 1,790 a 5,646;  $\text{La/Lu}$  - 2,448 a 23,958;  $\text{Eu/Eu}$  - 0,528 a 1,212.

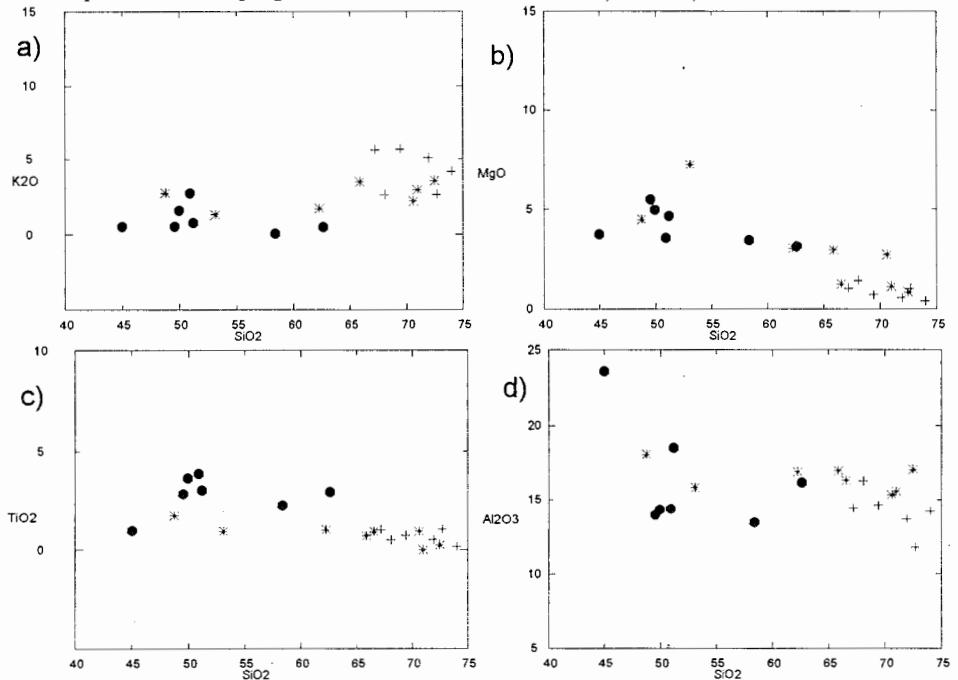


Figura 05: Diagramas do tipo Harker para rochas básicas da região leste de Minas Gerais. Rochas granulíticas gabro-noríticas (•); rochas granulíticas básicas alteradas (\*) e enderbitos charnockíticos (+).

Estas razões e os padrões de distribuição dos elementos terras raras, para estas amostras, mostram fracionamento típico de rochas básicas

toleíticas (Fig. 06a) do tipo intra-placa, segundo diagrama de Pearce (1982), com ligeiros enriquecimentos em ETRL.

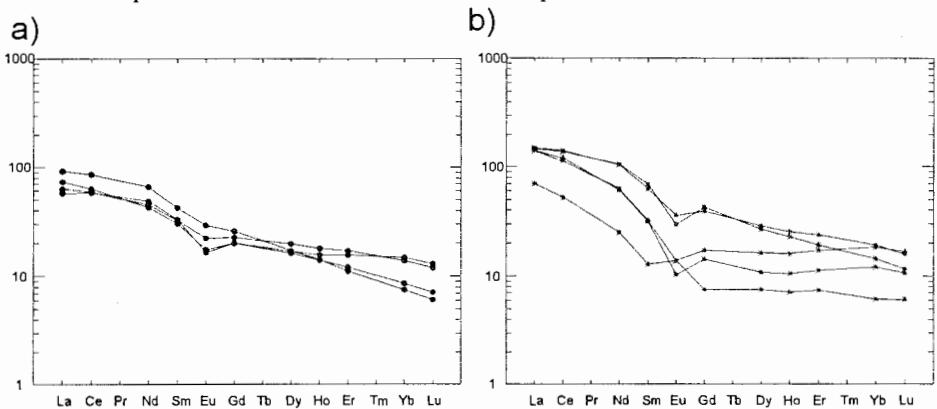


Figura 06: Diagramas de distribuição dos elementos Terras Raras para rochas granulíticas gabro-noríticas (06a) e rochas granulíticas básicas alteradas (06b) da região de Caratinga-Manhuaçu.

Para as rochas alteradas (Fig. 06b), são observados também padrões que mostram discretos enriquecimentos em elementos terras raras leves, em relação às terras raras pesadas e anomalias ligeiramente mais negativas em európio. De um modo geral, os padrões encontram-se representados por curvas que mostram distribuições semelhantes

entre elementos terras raras leves e terras raras pesadas, mas com conteúdos diferentes. Isto sugere um processo de enriquecimento relativo dos ETR, por provável perda de massa, quando das substituições sofridas pelos protólitos básicos, durante evento metassomático relacionado ao

retrometamorfismo sob condições da fácie anfibolito.

Para explicar os conteúdos relativamente altos em elementos incompatíveis poderia-se supor que os magmas precursores teriam sido gerados em zonas de transição entre o manto e a crosta (M.C.H. Figueiredo, comun. verb.). Já os padrões de distribuição dos elementos terras raras apresentados neste trabalho, quando comparados com os de Figueiredo & Hartmann (1989), sugerem granada-Iherzolito, eclogito ou granada-anfibolito como representantes da área-fonte para os tipos básicos toleíticos investigados.

## ESBOÇO DE EVOLUÇÃO ESTRUTURAL E GEOTECTÔNICA

Os processos geradores de granulitos e migmatitos na área em questão devem estar associados ao magmatismo básico-ultrabásico ocorrido, como proposto para outros terrenos metamórficos semelhantes (Harley 1989; Bohlen 1983; Ellis 1987; Gasparik 1980). Como demonstrado pelos dados geoquímicos, estes magmas podem ter sua gênese associada a processos de fusão em zonas de transição manto superior-crosta inferior.

Um quadro tectônico do tipo subducção de crosta oceânica por sob crosta continental, de forma a se justificar a geração e a procedência dos magmas precursores de parte dos litotípos básicos encontrados, se mostra oportuno. Este quadro evoluiu para uma situação do tipo colisional, com geração de grandes volumes de magmas graníticos de origem crustal, como aqueles observados nas partes norte e central da porção leste do Estado.

As estruturas encontradas na área, indicam a atuação posterior de uma tectônica transcorrente que, em função de dados regionais, pode ser interpretada como correspondente a um estágio evolutivo da tectônica colisional, na qual cavalgamentos teriam tido participação importante.

Grandes lineamentos estruturais de direção NNE/SSW e NNW/SSE (Costa et al. 1993b) estão associados à zonas de cisalhamento de caráter transpressivo, formadas posteriormente aos processos de granulitização e à principal fase de migmatização. Esses lineamentos são cortados por sistemas de fraturas de caráter rúptil, que aparecem regionalmente como lineamentos de direção EW.

Na área, foram encontradas dentro das zonas de cisalhamento, rochas foliadas sem lineação, enquanto outras mostravam lineação de estiramento de altitude variável, segundo a direção da foliação ou segundo o seu mergulho, que evidenciam a atuação de uma tectônica transpressiva.

Com base em interpretações petrológicas, o modelamento tectônico para terrenos granulíticos, a exemplo de trabalhos conduzidos em outras áreas, tem que levar em conta além das relações de campo, dados petrológicos, geotermobarométricos e

geocronológicos. Bohlen (1983) enfatiza que certas feições típicas de terrenos granulíticos não se coadunam com um simples modelo envolvendo uma colisão de continentes e sugere que estes terrenos têm sua origem associada a uma ambiência de arcos continentais.

Dentre os argumentos levantados por aquele autor encontra-se a constatação da presença de grandes volumes de magnas felsicos gerados como consequência destas colisões.

De modo geral, ainda segundo aquele autor, e no caso específico dos núcleos granulíticos apresentados neste trabalho, os terrenos granulíticos têm quase sempre uma composição básica, sugerindo que intrusões de magmas máficos de derivação mantélica seriam as responsáveis pelo aquecimento da crosta, com consequente granulitização. Nesses ambientes, por processos do tipo *underplating*, volumes de magmas básicos em parte intrudiriam e se deslocariam através da crosta provocando a granulitização. Este processo se faria acompanhar de uma compressão crustal. Nestes casos os valores máximos de temperatura seriam alcançados anteriormente aos máximos de pressão, tendo já as rochas permanecido por longos períodos sob condições de altas temperaturas, dentro do campo de estabilidade da sillimanita (Fig. 03).

A presença comum de sillimanita prismática nos tipos granulíticos peraluminosos, e a existência de paragêneses primárias à ortopiroxênio e plagioclásio nos litotípos básicos estudados, indicam que na área prevaleceram condições de altas temperaturas durante a fase inicial do evento metamórfico. O aporte de magmas para a base da crosta durante este período promoveu um aumento da pressão e em condições compressionais ocorreram substituições de paragêneses a ortopiroxênio e plagioclásio existentes, com geração de bordas de granada (Costa et al. 1993). Granulitos básicos contendo clinopiroxênio e granada teriam também se formado nestas condições.

A presença destas paragêneses e a constatação destas transformações, reforçam a possibilidade do modelo defendido neste trabalho, para explicar a formação dos núcleos granulíticos do leste de Minas Gerais.

As substituições de granadas por uma segunda geração de cordieritas e por hercynita (Costa et al. 1993), nas rochas granulíticas peraluminosas investigadas podem, por outro lado, ser entendidas como consequência de processos de descompressão isotérmicos sob condições do campo de estabilidade da sillimanita que, a exemplo de outros terrenos metamórficos relacionados em Harley (1989) e Bohlen (1983), poderiam ser indicativos de soerguimentos de blocos resultantes de uma tectônica transpressiva, como evolução de um quadro colisional.

Já as substituições de minerais em associações do tipo baixa pressão por minerais de pressão média, ou a geração destes nas rochas metamórficas supracrustais da Formação Salinas, aflorantes a

noroeste e a oeste de Padre Paraíso, corresponderiam, provavelmente aos reflexos da atuação desta tectônica transpressiva por sobre as rochas metamórficas regionais. Como consequência, porções desta Formação foram submetidas a aumentos locais de pressão, com geração local de cianitas.

Os dados petrológicos e estruturais disponíveis já permitem a proposição de um caminho PTt do tipo anti-horário para o metamorfismo na área e de tal modelamento tectônico. Para a sua confirmação ou não, serão necessários mais dados de campo e geocronológicos.

## CONCLUSÕES:

São ainda muito escassas as informações sobre a geologia e processos envolvidos na evolução geotectônica da Porção Leste do Estado de Minas Gerais.

Dados geocronológicos existentes, por não terem sido obtidos de forma sistemática, segundo critérios determinados por reconhecimentos de campo detalhados, pouco contribuem para o entendimento acerca desta evolução como um todo. Esses dados têm apenas permitido uma distinção e caracterização local de rochas e de alguns processos, ao longo do tempo geológico. Idades em torno de 580 Ma (Rb-Sr em RT) apresentadas por Siga Jr. (1986) e entre 580 Ma até 480 Ma (U-Pb em zircões) apresentadas por Söllner et al. (1991) como sendo as idades prováveis da granitização (evento colisional) e da geração de algumas rochas granulíticas, reforçam a vinculação proposta para a área investigada entre as intrusões magmáticas e os processos de migmatização e granulitação. A idade de 505 Ma (U/Pb em zircões) apresentada por Siga Jr. (1989) como idade de cristalização do charnockito de Padre Paraíso, pode corresponder provavelmente, à idade do metassomatismo charnockítico.

Com dados de campo, petrográficos, estruturais e geoquímicos obtidos neste trabalho torna-se possível propor apenas que, em termos de evolução para a Porção Oriental do Estado de Minas Gerais:

a. os magmas básicos, precursores dos litotipos gabbro-noríticos investigados, foram gerados como consequência de subducção de leste para oeste de placa oceanica por sob placa continental, com evolução para um quadro colisional. Segundo Wilson (1989) magmas primários mais ricos em sílica e ferro e relativamente pobres em Mg podem ser gerados por fusão parcial em ambientes do tipo subducção, envolvendo material mantélico com contaminação crustal e cristalização fracionada.

b. a concentração de corpos ígneos de composição básica-ultrabásica na região de Caratinga-Manhuaçu, intrusivos em uma sequência de rochas de caráter essencialmente paraderivado, é considerada neste trabalho como tendo sido determinante na geração de núcleos granulíticos

básicos ou peraluminosos e responsável pelos processos de fusão parcial em níveis intermediários a profundos da crosta;

c. por não existirem evidências de um evento metamórfico progressivo que tenha culminado com a formação dos tipos granulíticos, fica reforçada a hipótese da granulitação estar relacionada com o magmatismo básico-ultrabásico, gerado em zonas intermediárias manto-crosta, posicionado em níveis profundos a intermediários da crosta por um processo do tipo *underplating*, associado a um provável adelgaçamento crustal, com subsequente cristalização e diferenciação sob condições de P e T do fácies granulito;

d. a granulitação ocorreu inicialmente sob condições de baixa pressão com formação do par ortopiroxênio-plagioclásio. Compressão causada pela transferência de magmas do manto para a crosta determinou aumentos das condições de pressão, com geração de bordas de granada entre cristais de ortopiroxênio e plagioclásio e do par granada-clinopiroxênio;

e. líquidos de composição intermediária, gerados na crosta inferior por diferenciação de magma básico oriundo do manto ou por fusão parcial de material básico, migraram para níveis crustais mais elevados e cristalizaram-se como hiperstêni-tonalitos (enderbitos) associados a tipos granítoides gerados na crosta por processos de anatexia de paragnaisse, quer do domínio ( $ck_1$ ), quer do domínio (ss). Neste caso os encravados poderiam ser considerados como sendo restitos do processo de fusão parcial ou corresponderiam a testemunhos de partes profundas da crosta arrastadas, quando do deslocamento dos termos magmáticos mais diferenciados. Estes processos e os de granulitação associados ao domínio ( $ck_2$ ) ocorreram ao longo de um largo espaço de tempo e sob condições de gradientes geotérmicos elevados.

f. como consequência deste quadro de subducção e evolução para um colisional compressivo, foram gerados os grandes volumes de magma granítico, a partir da fusão parcial envolvendo gnaisses paraderivados. As sequências metamórficas supracrustais (ss) aflorantes nas regiões noroeste e leste da porção oriental, geradas sob condições de um evento regional do tipo intermediário de baixa pressão têm a sua gênese relacionada a esta fase do processo.

g. a presença de charnockitos na área está relacionada a processos metassomáticos tardios, com K-feldspatização e silicificação de rochas enderbiticas;

h. posteriormente à granulitação e migmatização desenvolveram-se inúmeras zonas de cisalhamento, essencialmente de caráter transcorrente, localmente transpressivas, supostamente associadas à evolução do quadro tectônico colisional. Uma provável exposição de níveis mais profundos da crosta, em função de soerguimentos tardios, seguramente ocorreu para

com a geração de paragêneses de mais baixa temperatura. Por outro lado porções da sequência supracrustal foram submetidas a condições compressivas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapenig pelo provimento de recursos, que financiam os trabalhos na área em estudo, ao CNPq pela concessão de bolsas de Iniciação Científica, à CEMIG pelo empréstimo de fotografias aéreas, aos ex-bolsistas W.C. Vidal, C.S. Vianna, L. Moreira e I.E. Queiroz, pelo apoio nas atividades de campo, ao Prof. Dr. José U. Munhá da Universidade de Lisboa pelas análises de minerais e cálculos geotermobarométricos, aos colegas Franciscus J. Baars (University of Cape Town) e A. Romano pela leitura crítica do manuscrito e aos colegas Luiz G. Knauer e Antonio.C. Pedrosa Soares, pelas proveitosas discussões.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. 1984. Província Mantiqueira - Setor Setentrional. In: O Pré-Cambriano do Brasil, Ed. Edgard Blücher Ltda, p. 282-307.
- ANGELI, N. 1988. Pesquisa dos jazimentos de níquel e geologia da folha de Ipanema - Minas Gerais. 289p. (Tese de Doutorado, IG/USP). (Inédito).
- BARBOSA, A.L.M. & GROSSI SAD, J.H. 1983. Reinterpretação das "Séries" Juiz de Fora e Paraíba, em Minas Gerais e Rio de Janeiro. Anais do II Simp. Geol. Minas Gerais, SBG, p. 1-15.
- BARBOSA, A.L.M. & GROSSI SAD, J.H. 1983. Geoquímica e petrologia dos charnockitos e rochas afins do Complexo Juiz de Fora, MG-RJ. Anais do II Simp. Geol. Minas Gerais, SBG, p. 75-84.
- BARBOSA, J. 1987. Constitution lithologique et métamorphique de la région granulitique de sud de Bahia-Brésil. 101p. (Tese de Doutorado, Université Paris VI). (Inédito).
- BOHLEN, S.R. 1983. Pressure-Temperature-Time Paths and a Tectonic Model for the Evolution of Granulites. *Journal of Geology*, V. 95, p. 617-632.
- COSTA, A.G. 1987. Petrologie und geochemische Untersuchungen des Gneis-Migmatit-Gebietes von Itinga, Jequitinhonha-Tal, Nordöstliches Minas Gerais, Brasilien. 288p. (Tese de Doutorado, TU-Clausthal). (Inédito).
- COSTA, A.G.; MARTINEZ, N.A.; VIDAL, W.C.; VIANA, C.S. 1991. Petrografia e Geoquímica de Charnockitos da Região Leste do Estado de Minas Gerais. In: Congr. Bras. Geoq., 3, São Paulo, 1991. Resumos...São Paulo, SBGq. V. 1, p. 234-237.
- COSTA, A.G.; FERNANDES, M.L.S.; VIDAL, W.C.; VIANA, C.S. 1992. Gênese e evolução de rochas granítoides da região nordeste do Estado de Minas Gerais. In: Congr. Bras. Geol., 37, São Paulo, 1992. Resumos...São Paulo, SBG, p. 337-338.
- COSTA, A.G.; VIDAL, W.C.; VIANA, C.S. 1992. Evolução metamórfica e estrutural para rochas do Complexo Básico-Ultrabásico da região de Manhuaçu-Ipanema, MG. In: Congr. Bras. Geol., 37, São Paulo, 1992. Resumos...São Paulo, SBG, V. I, p. 420.
- COSTA, A.G.; ROSIÈRE, C.A.; VIDAL, W.C.; VIANA, C.S.; LAUREANO, F.V. 1993a. Evolução tectônico-metamórfica de rochas granulíticas do Cinturão Costeiro em Minas Gerais. In: Simpósio sobre o Cráton do São Francisco, II, Salvador, 1993. Anais...Salvador, SBG, Núcleo Bahia/Sergipe, p. 23-25.
- COSTA, A.G.; ROSIÈRE, C.A.; BAARS, F.R.; VIDAL, V.C.; VIANA, C.S.; MOREIRA L.M. 1993b. Evidências de uma tectônica transpressiva na porção leste do Estado de Minas Gerais. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, Rio de Janeiro, 1993. Resumos...Rio de Janeiro, SBG núcleos RJ e SP, p. 59.
- EBERT, H. 1955b. Relatório de atividades. In: Relatório Anual 3. Diretor da Div. Geol. Min. 200 1954 a 1955. Rio de Janeiro, Prod. Min. Rio de Janeiro.
- ELLIS, D.J. 1987. Origin and evolution of granulites in normal and thickened crusts. *Geology*, V. 15, p. 167-170.
- FERNANDES, M.L.S. 1991. Geologia, Petrografia e Geoquímica de Rochas Granítoides da Região de Pedra Azul, MG. Rio de Janeiro, 191p. (Dissertação de Mestrado, Degeo-UFRJ). (Inédito).
- FIGUEIREDO, M.C.H. & HARTMANN, L.A. 1989. Geoquímica dos Elementos Terras Raras em Granulitos e Charnockitos do Brasil. p. 99-108. In: Geoquímica dos Elementos Terras Raras do Brasil. [por] - Formoso, M.L.; Nardi, L.V.S.; Hartmann, L.A. Rio de Janeiro, CPRM/DNPM, SBGeoqui.- 152p.
- FONTES, C.Q.; NETTO, C.; COSTA, M.R.A.; BALTAZAR, O.F.; SILVA, S.L.; VIEIRA, V.S. 1978. Projeto Jequitinhonha. Ministério das Minas e Energia. DNPM/CPRM, 1, 543p.
- GASPARIK, T. 1980. Geology of the Precambrian rocks between Elizabethtown and Mineville, eastern Adirondacks, New York. *Geol. Soc. Am. Bull.*, V. 91, p. 78-88.
- GREEN, D.H. & RINGWOOD, A.E. 1972. A comparison of recent experimental data on the gabro-garnet granulite-eclogite transition. *J. Geology*, V. 80, p. 277-288.
- HARLEY S.L. 1989. The origins of granulites: a metamorphic perspective. *Geol. Magazine* V. 126, p. 215-331.
- HORN H.A. & PAIVA, T.S. 1993. Investigações petrológicas e geoquímicas sobre rochas intrusivas na região ao norte da Serra do Caparaó, nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, Brasil. (no prelo)
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks of orogenic areas. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 83, p. 29-40.
- JANARDHAN, A.S.; NEWTON, R.C.; HANSEN, E.C. 1982. The Transformation of Amphibolite Facies Gneiss to Charnockite in Southern Karnataka and northern Tamil Nadu, India. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 79, p. 130-149.
- JENSEN, L.S. 1976. A new method of classifying subalkaline volcanic rocks. Ontario Division of Mines. Misc. Paper n.66.
- JORDT EVANGELISTA, H. 1984. Petrologische Untersuchungen im Gebiete zwischen Mariana und Ponte Nova, Minas Gerais, Brasilien. Diss. TU-Clausthal, 183 p.
- LEONARDOS, O.H.Jr. & FYFE, W.S. 1974. Ultrametamorphism and Melting of a Continental Margin: The Rio de Janeiro Region, Brazil. *Contr. Mineral. and Petrol.*, 46, p. 201-214.
- LOBATO, L.M. & PEDROSA SOARES, A.C. 1993. Recursos minerais do Cráton do São Francisco e faixas marginais em Minas Gerais: Síntese e subdivisão em unidades metalogenéticas. Geonomos, neste volume.
- MARTINEZ, N.A.; FUZIKAWA, K.; COSTA, A.G. 1992. Evidências da evolução dos fluidos no metamorfismo de alto grau através do estudo de inclusões fluidas: exemplo da região do Mangalô, Médio Vale do Rio Mucuri, MG. R. Esc. de Minas, Ouro Preto, 45 (1 e 2): 173-175.
- NEWTON, R.C.; SMITH, J.V.; WINDLEY, B.F. 1980. Carbonic metamorphism granulites and crustal growth. *Nature*, 288, p. 45-49.
- OLIVEIRA, M.A.F. 1983. As rochas granulíticas da Faixa Paraíba do Sul. *Rev. Bras. Geoc.*, V. 13, n 2, p. 84-92.
- PEARCE, J.A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe R.S. (edit.), Andesites: orogenic andesites and related rocks. John Wiley & Sons, New York, p 525-548.
- PEDROSA SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; VIDAL, Ph.; MONTEIRO, R.L.B.P.; LEONARDOS, O.H. 1992. Toward a new tectonic model for the Late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil)-West Congolian (SW Africa) Belt. *J. of South American Earth Sciences*, 6(1/2), p 33-47.
- POWERS, R.E. & BOHLEN, S.R. 1985. The role of synmetamorphic igneous rocks in the metamorphism and partial melting of metasediments, Northwest Adirondacks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 90, p. 401-409.
- RICHARDSON, S.W.; BELL, P.M.; GILBERT, M.A. 1969. Experimental determination of kyanite-andalusite and andalusite-sillimanite equilibria aluminous silicate triple point. *Am. Jour. Sci.*, 267, p. 259-272.
- SAXENA, S.K. 1977. The Charnockite Geotherm. *Science*. V. 198, p. 614 - 617.
- SCHOBENHAUS, C.; ALMEIDA, C.D.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. 1984. Geologia do Brasil - Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Bacia Oceânica Adjacente ao Leste: Depósito Minero 510.
- SCHULZER, H. 1955. Petrographische Untersuchungen einer lage von charnockitischen und granulitfazieller Gesteine im Raum

- Jequeri, östliches Minas Gerais, Brasilien. Diss. TU-Calusthal, 169p.
- SIGA Jr., O.; TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; DELHAL, J. 1982. O padrão geológico-geocronológico das rochas de alto grau da parte setentrional da Faixa Ribeira, a norte do Rio de Janeiro, Brasil. 5o. Congr. Latinoamer. Geol. Argentina, Actas, 1: 349-370.
- SIGA Jr., O. 1986. A evolução geotectônica da Porção nordeste de Minas Gerais, com base em interpretações geocronológicas. São Paulo, 140p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP) (inedito).
- SÖLLNER, F.; LAMMERER, B.; WEBER-DIEFENBACH, K. 1991. Die Krustenentwicklung in der Küstenregion nördlich von Rio de Janeiro/Brasilien. Münchner Geol. Hefte. B-4, 100p.
- WILSON, M. (1989). Igneous petrogenesis. A global tectonic approach. Allen & Unwin. Londres. 457p.