



METAMORFISMO PROGRESSIVO DE FÁCIES ANFIBOLITO DE ROCHAS ULTRAMÁFICAS DE ALPINÓPOLIS (MG): AS VARIAÇÕES COMPOSICIONAIS EM MINERAIS

G.A.J. SZABÓ¹; M.A.F. CANDIA²; A. CHOUDHURI³

1. gajszabo@usp.br - Depto. de Mineralogia e Geotectônica, IG-USP

2. macandia@usp.br - Depto. de Mineralogia e Geotectônica, IG-USP

3. asit@ige.unicamp.br - IG-UNICAMP

INTRODUÇÃO

As rochas metaultramáficas de filiação komatiítica do *greenstone belt* Morro do Ferro ocorrem em corpos disruptos de alguns metros a vários quilômetros de extensão, inseridos na Zona de Cisalhamento Campo do Meio, margem meridional do Cráton do São Francisco, sudoeste de Minas Gerais. Na região de sul a oeste / sudoeste de Alpinópolis, distribuem-se em duas áreas de ocorrência principais. A norte, na Faixa Serra do Dondó (FSD), em três corpos maiores e diversos menores em meio à suite de ortognaisses tonalíticos-granodioríticos cisalhados / remobilizados do embasamento. A sudoeste, na Faixa Mumbuca (FMu), em um corpo principal alongado (WNW-ESE) no vale do Córrego do Mumbuca, além de diversos corpos menores, em meio a terrenos gnáissicos-migmatíticos granodioríticos a graníticos.

Na FSD, os tipos petrográficos predominantes são variedades de clorita - Ca-anfibólio (CaAnf - tremolita a Mg-hornblenda) xistos e fels, com ocasionais texturas *spinifex*, localmente com porfiroblastos serpentinizados de olivina e microporfiroblastos de antofilita. Olivina (Ol) - ortopiroxênio (Opx) - Mg-hornblenda (MgHbl) fels nodosos, porfiroblásticos, com espinélio verde, magnésio-aluminoso (Esp), ocorrem em corpos menores isolados em meio à suite de ortognaisses, nas circunvizinhanças dos corpos maiores. Na FMu, predominam Ol e/ou Opx - Mg-Hbl xistos e fels nodosos, porfiroblásticos, com espinélio como acessório conspicuo, e com clorita em proporções variáveis.

As variações morfológicas e relações texturais dos minerais constituintes principais sugerem reações contínuas de reequilíbrio metamórfico, registradas em sucessivas gerações de minerais recrystalizados / reequilibrados, às vezes em uma mesma amostra, com domínios de equilíbrio "em mosaico", sobrepondo-se gerações posteriores, de grau metamórfico mais elevado, a gerações mais antigas, estas freqüentemente ostentando texturas *palimpsest* herdadas dos komatiitos (*spinifex*, pseudomorfos plumosos-dendríticos). Feições retrometamórficas ocorrem de maneira generalizada, representadas pela neoblastese da clorita consumida na formação da associação Ol + Opx + Esp, reabsorção concomitante do espinélio, e desenvolvimento de prismas esparsos de antofilita, em uma etapa interpretada como de amainamento do pico metamórfico. Feições retrometamórficas de grau mais baixo, desenvolvidas geralmente ao longo de domínios de cisalhamento tardios, são representadas por serpentinização e/ou talcificação incipiente a generalizada.

O propósito deste trabalho é investigar as variações composicionais dos minerais constituintes

principais - clorita magnésiana e anfibólio cálcico - à luz das relações texturais e dos tipos petrográficos em que ocorrem, tendo em mente que ambos constituem séries de solução sólida sensíveis ao grau metamórfico e ao espaço composicional em que se desenvolvem.

METODOLOGIA ANALÍTICA

As análises foram realizadas com a Microsonda Eletrônica JEOL JXA 8600 do Laboratório de Microsonda e Microscopia Eletrônica de Varredura do IG-USP, equipado com sistema de análise automatizada Tracor-Northern, nas seguintes condições: voltagem de aceleração 15 kV, corrente de feixe 20 nA, diâmetro do feixe 5 μ , com correções quantitativas ZAF através do programa Flextran PRZ da Noran Instruments. Foram analisadas 30 amostras, perfazendo um total de 1899 análises pontuais válidas, com um erro analítico estimado de $\pm 3\%$. As fórmulas estruturais foram calculadas, e os resultados tratados graficamente com auxílio do programa MINPET, com diversas adaptações realizadas dentro do permitido pela estrutura dos arquivos.

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

As variações composicionais foram analisadas amostra a amostra, e integradas para o acervo completo de análises disponíveis para cada mineral. O Ca-anfibólio da FSD apresenta conteúdos de Al^{total} e Al^{IV} mais baixos (figuras 1A e 1B), configurando tremolita / actinolita a hornblenda actinolítica (Al^{IV} entre 0,0 e 0,6 a.p.f.u. - nomenclatura segundo Leake 1978), com variações composicionais mais expandidas em uma mesma amostra, exceto para rochas portadoras de Ol - Opx - Esp. Nestas, o Ca-anfibólio é MgHbl (Al^{IV} entre 0,6 e 1,1 a.p.f.u.), e o espectro composicional é restrito para uma mesma amostra. As variações mais expandidas e sistemáticas foram registradas em rochas com texturas *spinifex* pseudomórficas com nítido desenvolvimento de anfibólios granoblásticos e prismáticos de gerações posteriores sobre os anfibólios pseudomórficos de piroxênios plumosos: os plumosos são mais tremolíticos, enquanto os granoblásticos / prismáticos mais "edeníticos", com teores mais elevados de Al^{IV} e Na. O Ca-anfibólio da FSD apresenta tendência de variação composicional pargasítica, exceto para as amostras com Ol - Opx - Esp, estas com relações Al^{IV}: Al^{VI} mais tschermakíticas nos anfibólios. Antofilita ocorre em duas situações texturais: nas rochas com texturas *spinifex*, em microporfiroblastos prismáticos randômicos sobre os leitos de clorita, quando então apresenta um componente edenítico mais pronunciado, em contraposição aos porfiroblastos prismáticos-

longos tardios que se desenvolvem ao redor do ortopiroxênio nas rochas com Ol-Opx-Esp, que tem tendência incipiente mais "tschermakítica".

O Ca-anfibólio da FMu é sistematicamente mais rico em Al^{total} e Al^{IV} , variando de hornblenda actinolítica a Mg-Hbl (Al^{IV} de 0,5 a 1,4 a.p.f.u. - figura 1B). A tendência de variação composicional deste anfibólio é algo mais tschermakítica que nas amostras da FSD, exceto para um conjunto de amostras excepcionalmente enriquecidas em Na, onde a tendência é mais pargasítica, e os teores de Al^{IV} os mais elevados, de 1,0 a 1,4 a.p.f.u., dentre todos os anfibólios investigados. Nestas amostras, olivina é subordinada ou inexistente e espinélio, raro. Dentre as amostras individuais, aquelas com maior variedade de tipos morfológicos de Ca-anfibólio apresentam os espectros composicionais mais expandidos, enquanto em amostras com texturas grano-nematoblásticas curtas, poligonizadas as variações são restritas. Além das substituições edenítica e Al-tschermakítica, também as substituições Ti-tschermakítica e Cr-tschermakítica são mais pronunciadas em Ca-anfibólio da FMu. Antofilita e cummingtonita da FMu são sistematicamente mais ricas em Al^{total} e Al^{IV} que na FSD, e também apresentam tendências de variação composicional mais tschermakíticas.

Clorita (Mg-clorita, clinocloro) ocorre em duas situações texturais distintas na FSD: nos clorita-Ca-anfibólio xistos e fels, em agregados de palhetas diminutas, quer intersticiais ao anfibólio, quer em lâminas alternadas, preservando o traçado das texturas *spinifex*. Já nas rochas porfiroblásticas / nodosas com Ol - Opx - MgHbl - Esp, apresenta-se como palhetas maiores, isoladas, randômicas, sendo ausente na matriz poligonizada de MgHbl. No primeiro caso, a variação composicional para o total de análises disponíveis é mais expandida, com Al^{total} entre 4,0 e 4,8-4,9 a.p.f.u. (figura 2A - fórmula estrutural com base em 28 oxigênios-equivalentes), com algumas análises esparsas, com Al^{total} entre 3,6 e 3,9 a.p.f.u., correspondentes a palhetas isoladas, discordantes, interpretadas como de blastese tardia, retrometamórfica. No segundo caso, o espectro composicional é mais restrito, com Al^{total} entre 4,4 e 4,8 a.p.f.u..

Na FMu, clorita apresenta, para o conjunto total de análises, um espectro composicional mais reduzido, entre 4,4 e 4,8 a.p.f.u. (figura 2B), sendo que a concentração das análises define um limite superior bem marcado para Al^{total} . Este valor coincide com aquele determinado experimentalmente por Jenkins e Chernosky (1986), ou reconhecido em paragêneses naturais por Frost (1975) como limite de estabilidade superior da Mg-clorita, antes da sua quebra para formar a associação Ol - Opx - Esp, e que corresponde a 4,8 Al para uma fórmula estrutural baseada em 28 oxigênios-equivalentes. As análises incluem tanto palhetas de clorita menores, intersticiais ao anfibólio, como restos de palhetas inclusas em ortopiroxênio, e palhetas maiores, isoladas, tardias, muitas das quais se desenvolvem nos arredores do espinélio.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As variações composicionais detectadas no Ca-anfibólio e na clorita são consequência das substituições catiônicas que se processam, de maneira

contínua, à medida que o metamorfismo progride. As principais substituições envolvidas são a tschermakítica $SiMg \rightleftharpoons Al^{IV}Al^{VI}$, em anfibólio e na clorita, e a edenítica $□Si \rightleftharpoons NaAl^{IV}$, em anfibólio. A substituição pargasítica corresponde à combinação das substituições tschermakítica e edenítica. Nas rochas com clorita e Ca-anfibólio da FSD, os espectros composicionais expandidos para ambos minerais, em texturas heterogêneas, portadoras de Ca-anfibólio de hábitos diversificados, sugere "equilíbrio em mosaico", ou seja: não foi atingido um equilíbrio textural / composicional pervasivo, permanecendo vestígios dos reequilíbrios parciais ocorridos durante etapas iniciais do metamorfismo progressivo. Já nas rochas com Ol - Opx - MgHbl \pm Esp da FSD, o equilíbrio metamórfico foi mais eficiente, e alcançou as condições de "quebra" da clorita magnesiânica, segundo a reação $Mg-clorita \rightleftharpoons Ol + Opx + Esp + H_2O$ (Jenkins e Chernosky 1986). Esta interpretação está de acordo com a composição apresentada pela clorita nestas rochas, sistematicamente mais restrita, e concentrada em valores próximos ao teor de Al que define a estabilidade superior deste mineral, 4,8 Al p.f.u. A clorita inicial foi toda consumida, sendo posteriormente reconstituída em parte, em palhetas grandes, durante o amainamento das condições metamórficas de pipo.

Nas rochas com clorita - Ca-anfibólio da FSD, a blastese dos porfiroblastos de olivina e dos microporfiroblastos de antofilita está espacialmente vinculada aos domínios ocupados pela clorita na textura, fato que pode ser constatado de maneira clara nas rochas com textura *spinifex* pseudomórfica. O desenvolvimento destas fases essencialmente magnésio-silicosas pode ser modelado através do enriquecimento gradual em Al da clorita, em função das substituições tschermakíticas que se processam com o incremento do grau metamórfico, produzindo o componente necessário para a blastese da olivina e antofilita. A pronunciada tendência edenítica do Ca-anfibólio nestas rochas é devida à ausência de outra fase mineral capaz de acomodar o Na em sua estrutura cristalina.

Nas rochas com Ol - Opx - MgHbl \pm Esp da FMu, o grau metamórfico é sistematicamente mais elevado, atingindo condições de transição entre facies anfibolito superior e granulito, conforme indica a presença de ortopiroxênio em anfibolitos associados. O Ca-anfibólio é mais aluminoso, principalmente em rochas enriquecidas em Na, nas quais a substituição edenítica provoca um incremento acentuado em Al, superando o máximo alcançado em rochas onde a substituição tschermakítica prevalece. Este teor máximo de Al é função das condições metamórficas, e das substituições catiônicas disponíveis: a disponibilidade de Na induz a um caráter mais pargasítico dessas substituições, produzindo MgHbl mais aluminosa. Nestas rochas, a incorporação do Al ao Ca-anfibólio consome o espinélio, e o Si liberado em decorrência da substituição edenítica provoca a transformação da olivina em ortopiroxênio, em um processo de "auto-silicificação".

A clorita, por sua vez, apresenta teores de Al próximos ao teor que define sua estabilidade máxima. Pelas relações texturais, sugere-se que, em algumas amostras, trata-se da clorita inicial, enriquecida



em Al durante o metamorfismo progressivo, mas que não alcançou as condições de "quebra" final, ou não chegou a ser totalmente consumida. Em outras amos-

tras, trata-se da clorita reconstituída durante o amai-namento das condições metamórficas alcançadas no auge do metamorfismo.

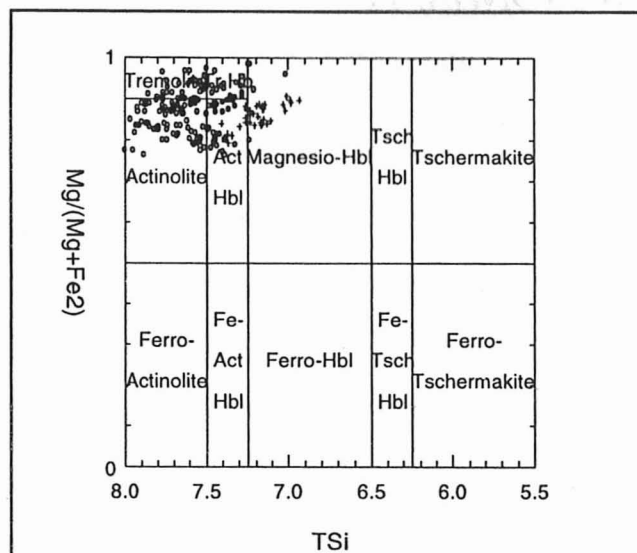


Figura 1A: Variações composicionais em anfíbólio cálcico da Faixa Serra do Dondó.

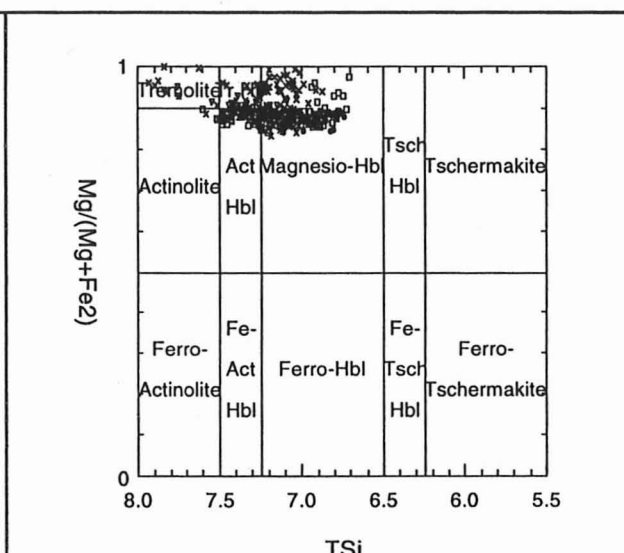


Figura 1B: Variações composicionais em anfíbólio cálcico da Faixa Mumbuca.

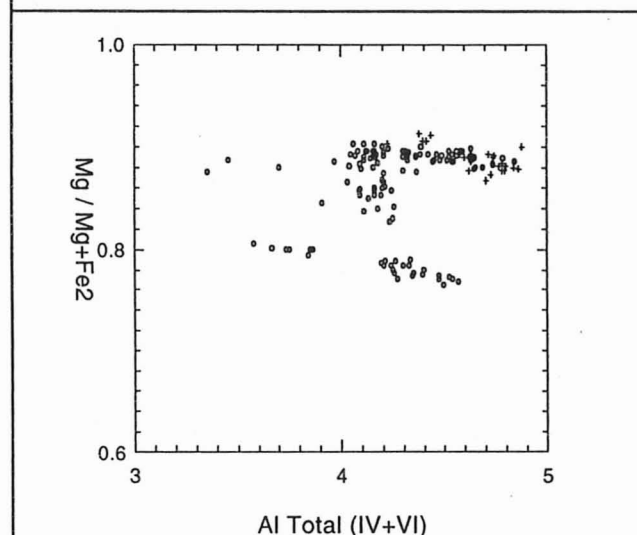


Figura 2A: Variações composicionais em Mg-clorita da Faixa Serra do Dondó.

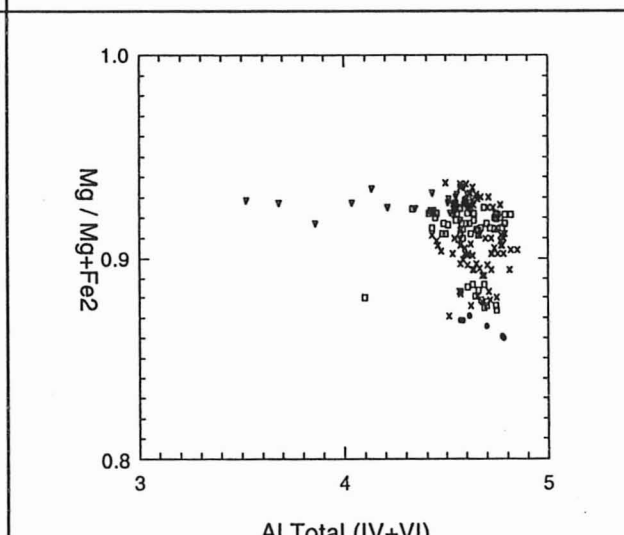


Figura 2B: Variações composicionais em Mg-clorita da Faixa Mumbuca.

Simbologia simplificada:

FSD: m Clorita - Ca-Anf xistos / fels / + Ol-Opx-MgHbl fels porfiroblásticos c/ Esp

FMu: x - Ol-Opx-MgHbl xistos / fels porfiroblásticos c/ Esp / > - Opx-MgHbl xistos / fels porfiroblásticos (+ Ol e Esp)

AGRADECIMENTOS

À FAPESP (Projeto Temático 97/00640-5) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

FROST, B.R. (1975) Contact metamorphism of serpentinite, chloritic blackwall and rodingite at Paddy-Go-Easy Pass, Central Cascades, Washington. *J. Petrol.*, **16**: 272-313

JENKINS, D.M. & CHERNOSKY Jr., J.V. (1986) Phase equilibria and crystallochemical properties of Mg-chlorite. *Am. Mineral.*, **71**: 924-936

LEAKE, B.E. (1978) Nomenclature of amphiboles. *Am. Mineral.*, **63**: 1023-1052