

Química Mineral e Estimativas de Pressão e Temperatura em  
Rochas Metassedimentares do Grupo Araxá na Região de Morrinhos,  
Sul do Estado de Goiás

*Mineral Chemistry and Pressure and Temperature Estimates of Metasedimentary  
Rocks of the Araxá Group in the Region of Morrinhos, South of Goiás State*

Guillermo Rafael Beltran Navarro<sup>1</sup> (grbnavarro@yahoo.com.br), Antenor Zanardo<sup>2</sup> (azanardo@rc.unesp.br),  
Fabiano Tomazini da Conceição<sup>3</sup> (ftomazini@rc.unesp.br), Renato de Moraes<sup>4</sup> (moraes@igc.usp.br),  
Luiz Sergio Amarante Simões<sup>2</sup> (lsimoes@rc.unesp.br)

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Geologia Regional - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP  
Av. 24A 1515, CEP 13506-900, Rio Claro, SP, BR

<sup>2</sup>Departamento de Petrologia e Metalogenia - IGCE - UNESP, Rio Claro, SP, BR

<sup>3</sup>Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento - IGCE - UNESP, Rio Claro, SP, BR

<sup>4</sup>Departamento de Mineralogia e Geotectônica - Instituto de Geociências - USP, São Paulo, SP, BR

*Recebido em 27 de maio de 2010; aceito em 21 de fevereiro de 2011*

## RESUMO

Na região de Morrinhos, estado de Goiás, as rochas do Grupo Araxá apresentam associações minerais, relacionadas ao ápice metamórfico, típicas da fácies anfibolito (zona da cianita) e são correlacionadas a estágio anterior ou inicial da principal fase deformacional de caráter dúctil ( $D_n$ ) observada regionalmente. Cálculos termobarométricos envolvendo granada + plagioclásio + biotita + muscovita, granada + plagioclásio + biotita + muscovita + cianita, granada + plagioclásio + biotita + muscovita + anfíbólio, com quartzo em excesso, indicam que o pico metamórfico ocorreu à temperatura na ordem de ~610°C e pressões de ~10 kbar; com trajetória  $P-T$  provavelmente horária, compatível com as condições tectônicas observadas em ambientes colisionais.

**Palavras-chave:** Grupo Araxá; Termobarometria; Goiás.

## ABSTRACT

In the Morrinhos region, Goiás state, Brazil, the rocks of the Araxá Group have mineral assemblages related to the metamorphic peak which occurred in this region and is typical of the amphibolite facies (kyanite zone). These rocks are associated with the initial stage of the main ductile deformation that occurred in this area. Thermobarometric calculations, including the associations, garnet + plagioclase + biotite + muscovite; garnet + plagioclase + biotite + muscovite + kyanite; garnet + plagioclase + biotite + muscovite + amphibole, with quartz in excess, indicate that the metamorphic peak occurred at temperatures of approximately 610°C and pressures in the order of 10 kbar. The  $P-T$  path is probably clockwise and is in agreement with the tectonic conditions observed in collisional settings.

**Keywords:** Araxá Group; Thermobarometry; Goiás.

## INTRODUÇÃO

A Faixa Brasília corresponde a cinturão orogênico neoproterozoico, com características típicas de cinturões metamórficos originados em ambiente colisional, resultante da convergência de três importantes blocos continentais: a placa Amazônica a noroeste, a placa São Franciscana a leste e a placa Paranapanema a sul. A faixa estende-se do sul de Minas Gerais, passando por toda extensão de Goiás e terminando no sul de Tocantins (Fuck et al., 1993). De maneira simplificada pode-se dizer que o metamorfismo na Faixa Brasília varia entre fácies xisto verde e anfibolito, alcançando condições das fácies granulito ou eclogito em Goiás e Minas Gerais (Zanardo, Morales, Del Lama, 1992; Zanardo et al., 1990, 1996a; Del Lama, Oliveira, Zanardo, 1994; Winge, 1995; Campos Neto e Caby, 1999, 2000; Moraes et al., 2002). Em muitos locais da Faixa Brasília o gradiente metamórfico é invertido, com condições da fácies xisto verde na base chegando à fusão na zona da cianita, no topo, a exemplo da Nappe de Passos (MG) (Oliveira et al., 1983; Simões, 1995; Simões et al., 1998; Luvizotto, 2003), sendo que o auge do metamorfismo ocorreu durante o Neoproterozoico (Fischel, Pimentel, Fuck, 1998; Piuzana et al., 2003b).

Seguindo a compartimentação proposta por Fuck (1990) e Fuck et al. (1993), a porção interna da Faixa Brasília na porção sul de Goiás é constituída de leste para oeste pelo Grupo Araxá, Complexo Anápolis-Itauçu e Associação Ortognáissica Migmatítica, Grupo Araxá e Arco Magmático de Goiás (Figura 1).

O Complexo Anápolis-Itauçu é composto por rochas que compreendem: **1.** ortogranulitos que incluem corpos máfico-ultramáficos acamadados e granulitos de composição tonalítica a granodiorítica; **2.** granulitos aluminosos, leptinitos e granada gnaisses associados com mármores, rochas cálcio-silicáticas, quartzitos e granulitos máficos finos; **3.** sequências vulcano-sedimentares (Maratá, Silvânia e Veríssimo), que ocorrem em faixas estreitas, são compostas de anfibolitos, mica xistos, rochas metavulcânicas félsicas, *metacherts* e formações ferríferas; **4.** granitos intrusivos (Marini et al., 1984; Pimentel et al., 2000). A Associação Ortognáissica Migmatítica é constituída por metatonalitos, metatonalitos aluminosos, metagranitos, metagranodioritos e migmatitos com restitos de rochas supracrustais, que gradam lateralmente para gnaisses quartzo-feldspáticos migmatizados. Esta gradação sugere fusão parcial de intensidade diferenciada a partir dos gnaisses paraderivados pertencentes ao Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu (Oliveira, 1994; Lacerda Filho e Oliveira, 1995).

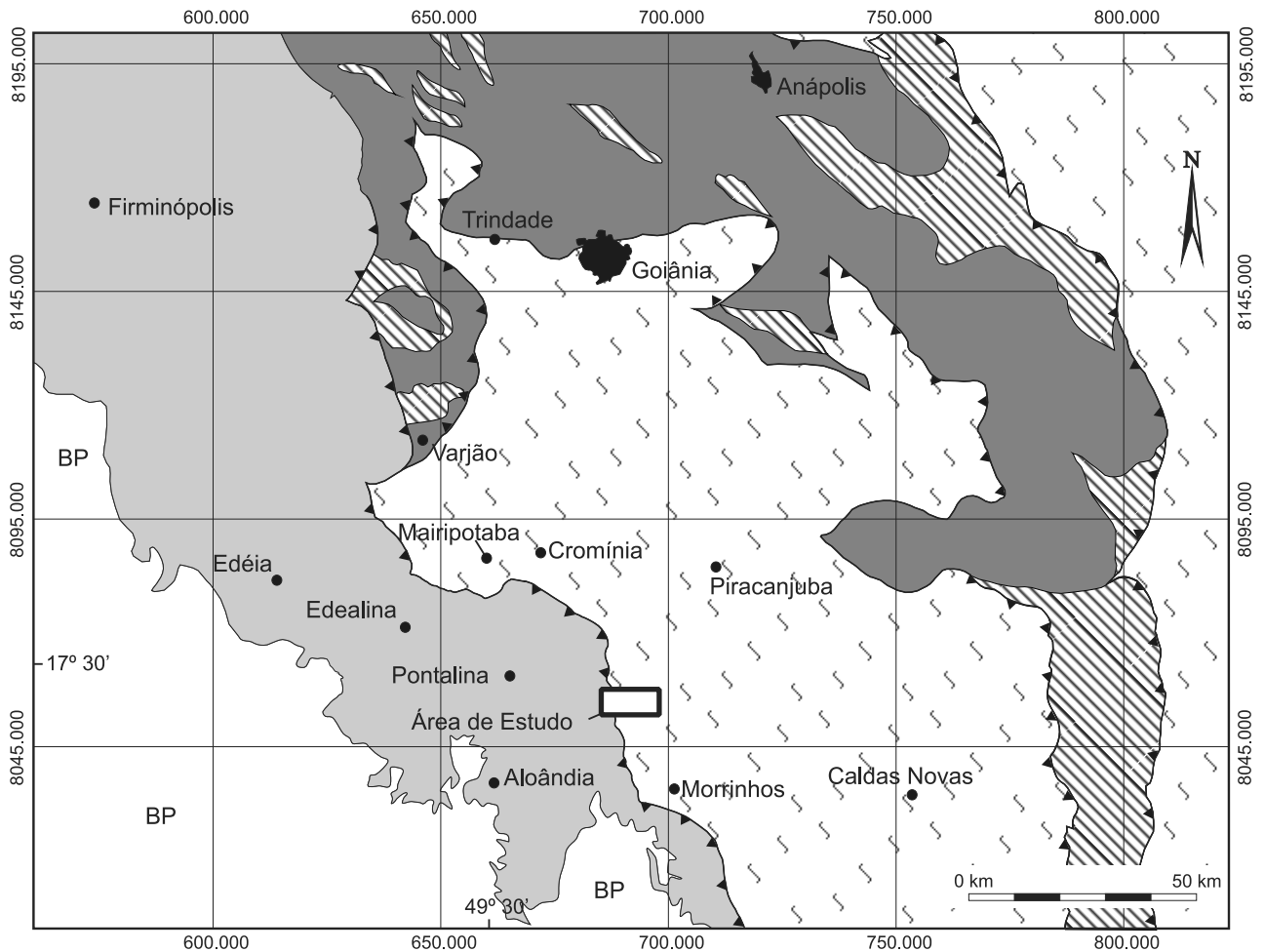
O Arco Magmático de Goiás é representado por ortognáisses com “intercalações” de rochas de origem sedimentar e/ou vulcano-sedimentar/tufogênicas (sequências metavulcano-sedimentares), interpretadas como parte de

crosta juvenil com assinatura geoquímica e isotópica de arcos magmáticos, intra-oceânicos a cordilheiranos e formados durante o ciclo orogênico neoproterozoico (Pimentel e Fuck, 1992; Pimentel et al., 2000; Valeriano et al., 2004). Ao Arco Magmático de Goiás associam-se corpos graníticos (granito Serra Negra, Serra do Irã, Caiapó, Iporá, Israelândia, Serra do Impertinente, Fazenda Nova, Novo Brasil) e máfico-ultramáficos (Complexos Americano do Brasil e Anicuns-Santa Bárbara, Diorito Córrego do Lajeado) tardi- a pós- orogênicos, resultantes de magmatismo bimodal, relacionados ao último estágio colisional da Faixa Brasília (Pimentel et al., 2000, Valeriano et al., 2004).

O Grupo Araxá no estado de Goiás é dividido em duas faixas com orientação NW-SW, situadas acima e abaixo das rochas do Complexo Anápolis-Itauçu e da Associação Ortognáissica Migmatítica. Ambas as faixas são constituídas por rochas metassedimentares distais turbidíticas (sequência de metassedimentos psamíticos, psamo-pelíticos e pelíticos) com significativa presença de pelitos depositados em ambiente plataformal continental distal, incluindo talude e sopé continental, metamorfisados nas fácies xisto verde superior e anfibolito, chegando localmente a granulito (Valeriano et al., 2004). A ocorrência de rochas metamáficas (anfibolito, granada anfibolito) e metaultramáficas (serpentinito, talco xisto, clorita xisto) intercaladas aos metassedimentos, são interpretadas como restos de assoalho oceânico, assumindo características de *melange* ofiolítica (Drake Jr., 1980; Strieder e Nilson, 1992a, 1992b). Diversos corpos graníticos de dimensões variadas sin- a tardi-tectônicos (granitos Encruzadilha, Sesmária, Tambu, Maratá, granitoides tipo Aragoiânia e Piracanjuba), ocorrem alojados no Grupo Araxá e são interpretados, em parte, como granitos derivados da fusão de rochas metassedimentares deste grupo (Pimentel et al., 2000; Rezende et al., 1999).

Resultados isotópicos e geocronológicos para rochas metassedimentares do Grupo Araxá em Goiás, obtidos pelos métodos Sm-Nd e U-Pb (SHRIMP), indicam a presença de duas áreas-fontes com idades distintas, uma neoproterozoica (rochas do Arco Magmático de Goiás) e outra mais antiga, paleoproterozoica, provavelmente derivadas da erosão de rochas do Cráton do São Francisco (Pimentel et al., 2001; Piuzana et al., 2003a, 2003b). Grãos detriticos de zircão, de origem metamórfica, apresentam idades de até 628 Ma e intrusões de 638 Ma indicam que a deposição do Grupo Araxá ocorreu no Neoproterozoico, e que os sedimentos foram depositados e metamorfisados em curto intervalo de tempo, envolvendo fontes de idades do Paleoproterozoico ao Neoproterozoico (Piuzana et al., 2003a).

As associações minerais relacionadas ao pico metamórfico observadas no Grupo Araxá em Goiás são da fácies anfibolito, constituídas por paragéneses com biotita - plagioclásio - anfibólio, biotita - plagioclásio - anfibólio -



**BP** **Bacia do Paraná** - rochas sedimentares e vulcânicas paleomesozoicas

#### Faixa Brasília (Zona Interna)

**Arco Magmático de Goiás** - ortognaisses (dioríticos a graníticos), rochas metavulcano-sedimentares (rochas metavulcânicas de composição básica a ácida, e rochas metassedimentares pelíticas e psamíticas, mármore, formações ferríferas e *metacherts*); corpos intrusivos tardi- a pós-orogênicos de composição granítica e máfico-ultramáficos.

**Grupo Araxá** - rochas metassedimentares (metapelitos, metapsamitos), metamáficas (anfibolito, granada-anfibolito) e metaultramáficas (serpentinito, talco xisto, clorita xisto); e corpos intrusivos graníticos associados.

**Associação Ortognáissica Migmatítica** - rochas granito-gnáissicas (metatonalitos, metatonalitos aluminosos, metagranitos, metagrandioritos) e migmatitos.

**Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu** - ortogranulitos de composição tonalítica a granodiorítica, corpos máfico-ultramáficos; paragranulitos, leptinitos e granada gnaisses, mármore, rochas cálcio-silicáticas, quartzitos; seqüências metavulcano-sedimentares (anfibolitos, metassedimentos, metavulcânicas, formações ferríferas e *metacherts*); intrusões graníticas associadas.

**Figura 1.** Mapa geológico regional esquemático de parte da Faixa Brasília na porção sul de Goiás (modificado de Lacerda Filho, Rezende, Silva, 2000) mostrando a localização da área de estudo.

granada e granada - plagioclásio - biotita - estaurolita - cianita, com quartzo e muscovita em excesso. Cálculos termobarométricos indicam que o pico metamórfico ocorreu a 610°C e 9,5 kbar e que a trajetória *P-T* é horária, compatível com ambiente colisional (Navarro et al., 2009).

Apesar de sua grande extensão e importância, poucos são os trabalhos mais detalhados sobre o metamorfismo das rochas da Faixa Brasília. O objetivo deste trabalho é avaliar as condições do metamorfismo nas quais as rochas metassedimentares do Grupo Araxá, na região de Morrinhos, foram submetidas durante sua evolução geológica, utilizando cálculos termobarométricos envolvendo associações minerais com granada + muscovita + plagioclásio + quartzo + biotita ± anfibólio ± cianita + quartzo.

## GEOLOGIA LOCAL

A área de estudo localiza-se a norte da cidade de Morrinhos (Figura 1). O Grupo Araxá na área de estudo é constituído de associação de (cianita)-granada-muscovita-biotita-quartzo xisto e granada-anfibólio-biotita-quartzo xisto feldspático e/ou granada-muscovita-biotita-quartzo paragneisse e granada-anfibólio-biotita-quartzo paragneisse, limitada a oeste por rochas atribuídas ao Arco Magmático de Goiás (Figura 2). Os xistos e gnaisses do Grupo Araxá são de cor cinza a cinza escuro, apresentam textura lepidoblástica a granolepidoblástica, com porfiroblastos de granada com dimensões variando entre 3 e 7 mm, estrutura xistosa e granulação fina a média. São comuns veios de

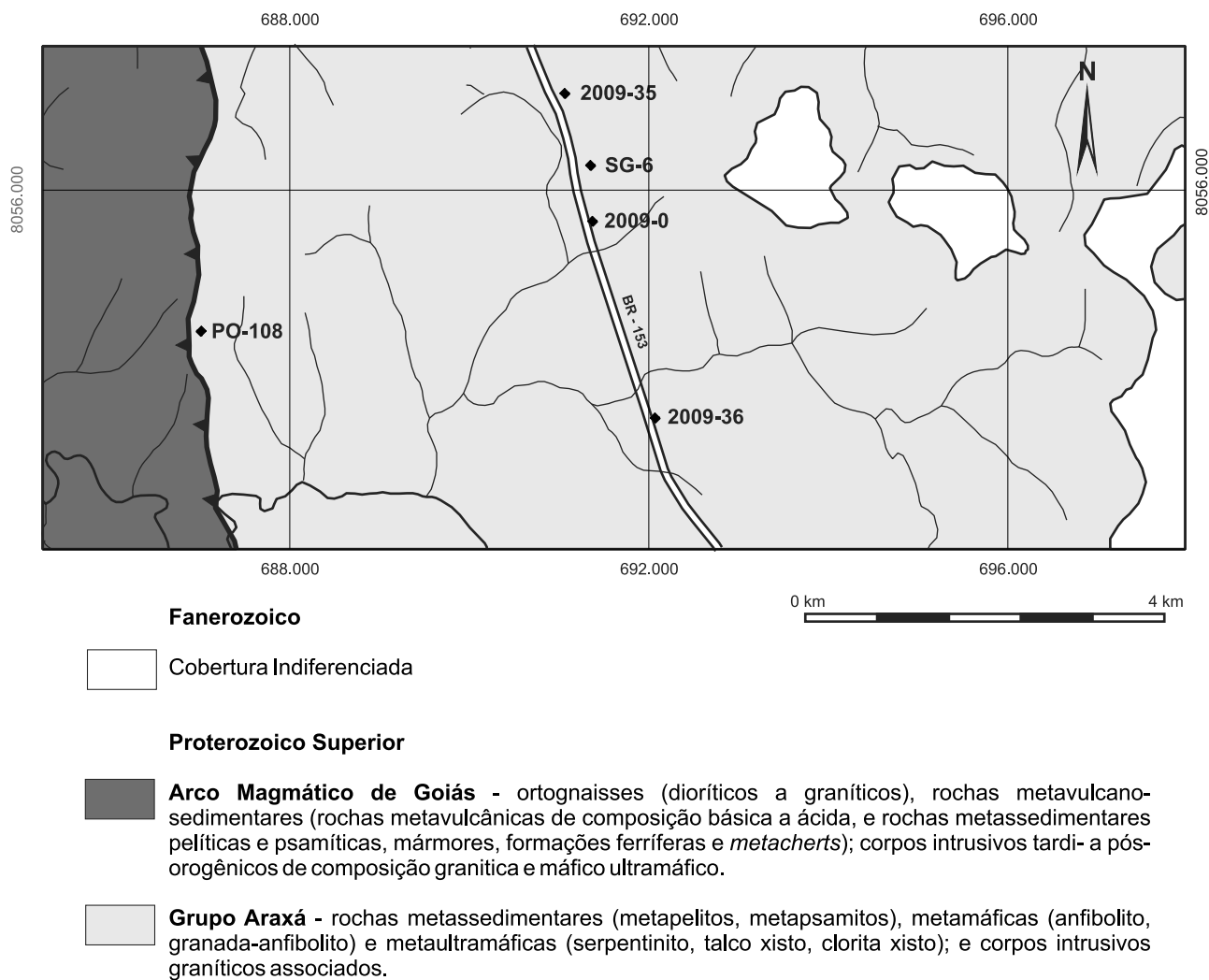


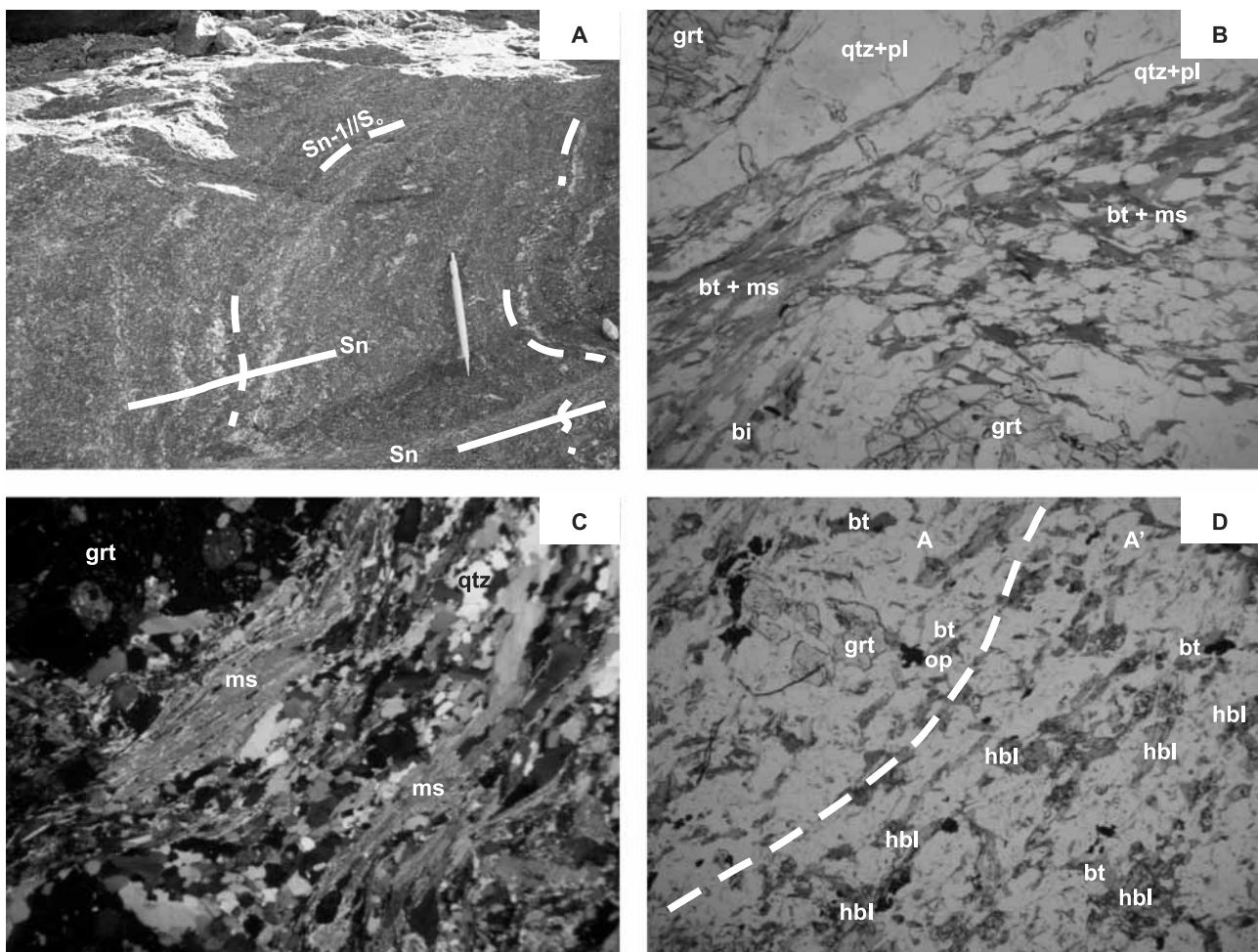
Figura 2. Mapa geológico esquemático da área de estudo, mostrando a localização das amostras analisadas (losangos pretos).



quartzo lenticulares de tamanhos milimétricos a decimétricos e dobras recumbentes.

A foliação regional é denominada de  $S_n$ , de direção geral NE-SW com mergulhos médios para NW (283/30) e paralela ao bandamento composicional ( $S_o$ ). A foliação  $S_n$  é plano axial as dobras isoclinais que exibem linha de charneira paralela a subparalela à lineação mineral ( $L_m$ ) e/ou de estiramento ( $L_e$ ), que afetam a foliação  $S_{n-1}$ . O bandamento composicional ( $S_o$ ) é constituído por porções lepidoblástica e granoblástica, e este é paralelo à xistossidade bem desenvolvida denominada de  $S_{n-1}$  (Figura 3, Foto A).

Lineação de estiramento ( $L_e$ ) é paralela à lineação mineral ( $L_m$ ), exibe orientação WNW-ESE e baixo ângulo de caimento (300/08). O estiramento é marcado pelo quartzo e agregados de minerais, enquanto que a mineral é marcada pela disposição das micas e anfibólio. Paralela a esta estrutura observa-se lineação de interseção ( $L_i$ ) formada por  $S_n$  e  $S_{n-1}$ . Os indicadores cinemáticos associados à lineação de estiramento sistematicamente indicam transporte de massa de topo de oeste para leste. A foliação  $S_n$  é correlacionável a principal fase deformacional  $D_n$  que afetou a região.



**Figura 3.** A. Fotografia de afloramento (2009-36) de granada-muscovita-biotita xisto onde se observa um bandamento (linha tracejada) transposto pela foliação  $S_n$  (linha contínua). B. Fotomicrografia de lâmina delgada de granada-muscovita-biotita xisto (lâmina PO-108) mostrando bandamento constituído por porções granoblásticas (qtz+pl) e granolepidoblásticas (bt+ms). C. Fotomicrografia de agregado de micas (ms) paralelo à foliação  $S_n$  (lâmina 2009-22). D. Fotomicrografia mostrando bandamento composicional constituído por bandas com anfibólio (A') e sem anfibólio (A) (lâmina 2009-36). **bt** = biotita, **grt** = granada, **hbl** = hornblenda, **ms** = muscovita, **op** = opaco, **pl** = plagioclásio, **qtz** = quartzo.

## PETROGRAFIA DAS ROCHAS DO GRUPO ARAXÁ

Os litotipos do Grupo Araxá apresentam textura lepidoblástica a lepidogranoblástica, com intercalações de porções granoblástica a granolepidoblástica, que marcam o bandamento paralelo  $S_n/S_{n-1}$  (Figura 3, Fotomicrografia B), normalmente com assimetria, indicando ser resultante de deformação não coaxial. Mineralogicamente as rochas são constituídas por quartzo, oligoclásio, granada, biotita, muscovita, mais raramente anfibólio e cianita, contendo ainda rutilo, ilmenita, titanita, minerais opacos e epidoto.

A granada ocorre com porcentagem modal inferior a 10%, é granular, poiquiloblástica com inclusões de quartzo, epidoto, rutilo, ilmenita e plagioclásio, ou porfiroblástica, xenoblástica a hipidioblástica, apresenta tamanho variando entre 1 a 7 mm e pode exibir bordas com alteração parcial para biotita.

O plagioclásio apresenta composição de oligoclásio a andesina, ocorrendo secundariamente a albita, sendo que o oligoclásio e andesina, às vezes, apresentam bordas de albita. Os cristais são menores que 1 mm, podendo atingir dimensões da ordem de 3 mm; são xenoblásticos a hipidioblásticos, e encontram-se parcialmente alongados e orientados segundo a foliação principal  $S_n$ . A quantidade de plagioclásio pode superar 25% da porcentagem modal, constituindo paragneisses.

O quartzo apresenta-se recristalizado, com contatos lobulados a poligonais, variando entre 20 a 40% (xistos e gnaisses). Os grãos são xenomórficos, alongados e orientados segundo a foliação; podem ocorrer como agregados policristalinos com dimensões de 2 a 4 mm, e grãos submilimétrico podendo formar pequenas lentes, com cristais de 1,5 mm.

Biotita e muscovita formam grãos hipidioblásticos e seu tamanho varia de submilimétrico a 1,5 mm, chegando a formar agregados sigmoidais, orientados segundo a foliação (Figura 3, Fotomicrografia C). A proporção da muscovita varia entre 10% e 30%, podendo chegar a < 5% nos xistos com anfibólio, enquanto a da biotita fica entre menos de 15% até 50%. A clorita ocorre subordinada em relação à biotita, anfibólio e granada, com tamanho submilimétrico, chegando a perfazer ~3% da proporção modal. A cianita foi observada apenas na amostra SG-6, dispersa na rocha, sob a forma de cristais xenoblásticos, submilimétricos, parcialmente alterados para mica branca.

A hornblenda ocorre parcialmente orientada e associada à granada, biotita, plagioclásio e quartzo. Apresenta tamanho milimétrico a submilimétrico, com média de 1 mm e localmente é capeada por biotita. As porções das amostras ricas em anfibólio constituem bandas e/ou ban-

damento nos litotipos analisados, evidenciando um bandamento composicional ( $S_0$ ) nas rochas (Figura 3, Fotomicrografia D).

Os minerais acessórios mais comuns são rutilo, ilmenita, magnetita, turmalina, zircão, minerais opacos e apatita. Constituem grãos irregulares, xenoblásticos, submilimétricos, orientados segundo a foliação. A ilmenita, normalmente ocorre na borda de grãos de rutilo.

## METAMORFISMO DO GRUPO ARAXÁ

Na área de estudo as associações minerais relacionadas ao pico metamórfico são: quartzo + muscovita + biotita + plagioclásio + granada + hornblenda; quartzo + muscovita + biotita + plagioclásio + granada; quartzo + biotita + plagioclásio + granada + hornblenda; quartzo + biotita + plagioclásio + granada, sendo rutilo e ilmenita os óxidos associados. Cianita ocorre em uma lâmina (SG-6) em associação com quartzo, muscovita, biotita, granada e plagioclásio. Nas rochas metamáficas (anfíbolitos, granada anfíbolitos), as associações minerais relacionadas ao pico metamórfico são caracterizadas pela presença de hornblenda + plagioclásio, granada + hornblenda + plagioclásio, com rutilo e ilmenita associados, localmente com titanita. As associações minerais são típicas da fácies anfíbolito médio a superior e podem ser correlacionadas a estágio anterior ou inicial da principal fase deformacional de caráter dúctil ( $D_n$ ).

Os minerais presentes indicam que a maior parte das rochas presentes não são pelitos verdadeiros, pois apresentam fases ricas em Ca como minerais essenciais. O retrometamorfismo é marcado pelo crescimento de clorita sobre biotita e granada, por vezes substituindo boa parte dos grãos. Também esse processo é observado nos grãos de muscovita dispostos de forma aleatória sobre a foliação principal, além da saussuritização de plagioclásio. As associações evidenciam variação das condições retrometamórficas da fácies anfíbolito para a fácies xisto verde superior a médio. O retrometamorfismo é resultante do equilíbrio mineral sin- a tardi- $D_n$ , pois os minerais formados nessa fase encontram-se deformados e parcialmente orientados.

## QUÍMICA MINERAL

Os minerais relacionados ao metamorfismo principal foram analisados no Laboratório de Microsonda Eletrônica Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. O aparelho é CAMECA SX50 e as condições de análise foram de 20 kV e 25 nA. A Tabela 1 apresenta o resumo das associações minerais observadas e utilizadas no cálculo das condições de  $P$  e  $T$ .

**Tabela 1.** Associações minerais presentes nas amostras usadas para termobarometria. A localização das amostras é mostrada na Figura 2. **(a)** = granada-muscovita-quartzo-biotita gnaíse; **(b)** = anfibólio-granada-biotita-quartzo gnaíse com muscovita; **(c)** = granada-anfibólio-biotita-quartzo gnaíse com muscovita; **(d)** = granada-biotita-quartzo gnaíse com muscovita; **(e)** = granada-biotita-muscovita-quartzo gnaíse com cianita.

Amostras	2009-0 <sup>(a)</sup>	2009-35 <sup>(b)</sup>	2009-36 <sup>(c)</sup>	PO-108 <sup>(d)</sup>	SG-6 <sup>(e)</sup>
anfibólio		X	X		
biotita	X	X	X	X	X
cianita					X
plagioclásio	X	X	X	X	X
granada	X	X	X	X	X
muscovita	X	X	X	X	X
quartzo	X	X	X	X	X

## Anfibólio

O anfibólio ocorre em duas amostras (2009-35 e 2009-36). São grãos xenoblásticos e submilimétricos (< 1,0 a ~1,0 mm), de cor verde e mais raramente marrom. Os cristais de anfibólio analisados apresentam composição cálcica, e são classificados predominantemente como tschermakita, e subordinadamente como magnésio-hornblenda e magnésio-hastingsita (Figura 4, Tabela 2). As análises das amostras indicam que não existe um zonamento composicional, entre a borda e o núcleo, mesmo nos cristais maiores. O anfibólio apresenta 0,038 a 0,094 *a.p.u.f.* de Ti, entre 1,405-1,841 *a.p.u.f.* de Al<sup>IV</sup> e entre 0,880-1,415 *a.p.u.f.* de Al<sup>VI</sup>. A menor variação de Al<sup>IV</sup> sugere que a substitui-

ção tschermak é a mais importante envolvida na variação composicional do anfibólio, sendo que o restante de Al<sup>VI</sup> deve estar relacionado com a substituição da edenita. O conteúdo de Na e K é baixo, varia entre 0,286 - 0,436 e 0,064 a 0,145 *a.p.u.f.* respectivamente; e o de Ca entre 1,638 e 1,760 *a.p.u.f.*, sendo que o conteúdo de Na(M4) também é baixo (0,127 - 0,192 *a.p.u.f.*).

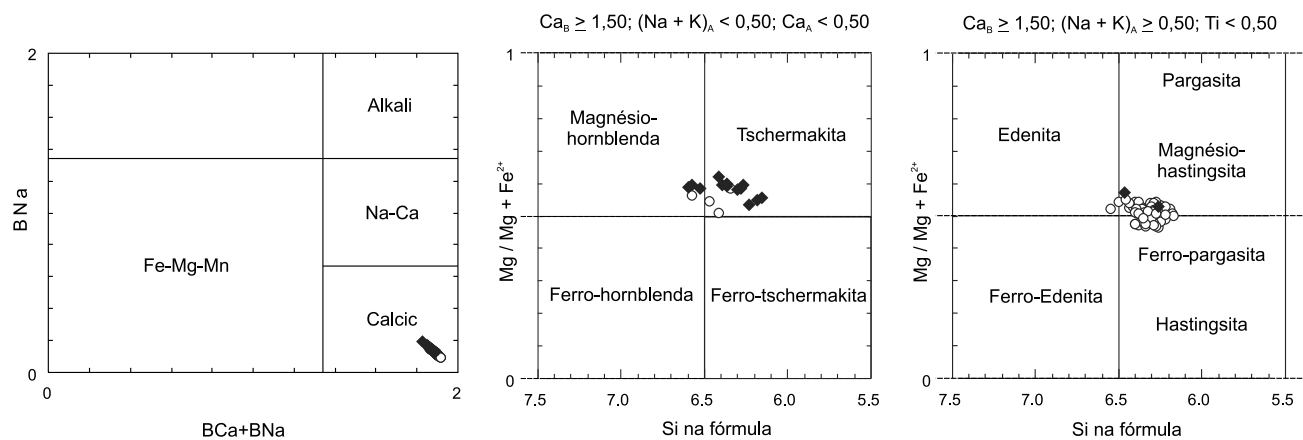
## Biotita

Os cristais de biotita analisados são de cor marrom claro a marrom escuro e não apresentam zonamento químico. Exibem composição química dominada pelo membro final eastonita, próximo ao limite com o campo da siderofilita, com  $X_{Mg}$  entre 0,522 e 0,673, e Al<sup>IV</sup> > 0,5. (Figura 5, Tabela 3).

## Granada

Os cristais de granada analisados são porfiroblastos e poiquiloblastos, xenoblásticos, de dimensões milimétricas, com inclusões de quartzo, minerais opacos, rutilo e plagioclásio. Análises representativas da composição química de grãos de granada são apresentadas na Tabela 4. Na amostra 2009-0 os cristais de granada apresentam composição dominada pela molécula de almandina, seguida por piro-piro, espessartita e grossulária. Exibem zonamento composicional com aumento da proporção de Fe e Mg ( $alm_{N62 \rightarrow B70}$ ,  $prp_{N8,4 \rightarrow B16,3}$ ) e diminuição no valores de Ca e Mn ( $grs_{N \text{ máx. } 20,3}$ ;  $B \text{ mín. } - 7,8$ ;  $sp_{N7,5-B3,2}$ ) em direção às bordas, com subsequente diminuição no conteúdo de Fe e Mg (Figura 6A).

Os grãos de granada analisados na amostra PO-108 apresentam um padrão similar ao da amostra 2009-0, sendo a almandina a molécula dominante, seguida de grossulária, piro-piro e espessartita. Os grãos exibem zoneamento químico



**Figura 4.** Diagrama de classificação dos anfibólios baseado em Leake et al. (1997).

Tabela 2. Análises químicas representativas de anfibólito. N = núcleo e B = borda. Os átomos por unidade de fórmula foram calculados na base para 23 oxigênios.

Amostra	2009-35										2009-36									
	anf243	anf244	anf245	anf246	anf247	anf248	anf249	Anf250	anf251		anf403	anf404	anf405	anf406	anf407	anf408				
SiO <sub>2</sub>	41,685	43,992	42,407	42,995	42,154	43,583	43,853	41,757	43,339		44,859	43,754	44,463	42,381	42,072	44,351				
TiO <sub>2</sub>	0,502	0,729	0,411	0,525	0,456	0,434	0,753	0,456	0,525		0,752	0,727	0,843	0,410	0,341	0,639				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,497	15,900	17,035	16,892	16,863	16,022	15,756	18,711	16,217		14,328	13,958	13,208	17,132	16,782	13,741				
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,103	0,173	0,254	0,205	0,113	0,195	0,072	0,207	0,118		0,071	0,061	0,000	0,007	0,131	0,052				
FeO	14,333	14,943	13,858	14,302	14,036	14,055	13,911	14,299	14,145		14,984	15,918	14,900	15,336	15,902	14,117				
MnO	0,044	0,075	0,049	0,077	0,054	0,040	0,105	0,043	0,060		0,098	0,121	0,099	0,096	0,132	0,166				
MgO	8,464	9,967	9,592	9,473	9,351	9,902	10,279	8,606	9,784		10,221	9,967	10,421	8,740	8,686	10,190				
CaO	10,731	10,953	10,773	10,883	10,705	11,087	10,453	10,695	10,924		11,210	10,591	10,897	11,127	10,970	11,031				
Na <sub>2</sub> O	1,849	1,784	1,922	1,828	1,838	1,678	1,873	1,885	1,528		1,621	1,921	1,549	1,968	1,848	1,669				
K <sub>2</sub> O	0,395	0,358	0,438	0,341	0,381	0,364	0,359	0,458	0,375		0,422	0,770	0,491	0,551	0,505	0,516				
F	0,207	0,154	0,154	0,204	0,101	0,403	0,000	0,053	0,450		0,000	0,000	0,000	0,015	0,200	0,205				
Cl	0,000	0,007	0,007	0,019	0,000	0,021	0,002	0,000	0,037		0,030	0,000	0,028	0,002	0,023	0,012				
Σ Óxidos	96,710	98,860	96,650	97,540	95,940	97,590	97,340	96,960	97,380		98,520	97,730	96,900	97,760	97,460	96,640				
TSi	6,184	6,366	6,267	6,304	6,281	6,391	6,412	6,159	6,367		6,524	6,462	6,578	6,258	6,234	6,595				
TAl <sup>IV</sup>	1,816	1,634	1,733	1,696	1,719	1,609	1,588	1,841	1,633		1,476	1,538	1,422	1,742	1,766	1,405				
CA <sup>VI</sup>	1,415	1,075	1,231	1,221	1,240	1,158	1,125	1,409	1,172		0,978	0,889	0,880	1,237	1,162	1,001				
CCr	0,012	0,020	0,030	0,024	0,013	0,023	0,008	0,024	0,014		0,008	0,007	0,000	0,001	0,015	0,006				
CFe <sup>3+</sup>	0,234	0,315	0,272	0,268	0,274	0,243	0,335	0,259	0,292		0,237	0,330	0,277	0,198	0,292	0,167				
CTi	0,056	0,079	0,046	0,058	0,051	0,048	0,083	0,051	0,058		0,082	0,081	0,094	0,046	0,038	0,071				
CMg	1,872	2,150	2,113	2,071	2,077	2,165	2,241	1,892	2,143		2,216	2,194	2,298	1,924	1,919	2,259				
CFe <sup>2+</sup>	1,409	1,357	1,306	1,354	1,342	1,362	1,202	1,362	1,318		1,472	1,491	1,445	1,590	1,566	1,486				
CMn	0,003	0,005	0,003	0,005	0,003	0,002	0,006	0,003	0,004		0,006	0,007	0,006	0,006	0,008	0,010				
BFe <sup>2+</sup>	0,135	0,137	0,135	0,131	0,133	0,119	0,164	0,143	0,128		0,113	0,145	0,122	0,106	0,113	0,103				
BMn	0,003	0,005	0,003	0,005	0,003	0,003	0,007	0,003	0,004		0,006	0,008	0,006	0,006	0,008	0,011				
BCa	1,706	1,698	1,706	1,710	1,709	1,742	1,638	1,690	1,719		1,747	1,676	1,727	1,760	1,742	1,757				
BNa	0,156	0,160	0,156	0,154	0,154	0,137	0,192	0,164	0,149		0,135	0,172	0,145	0,127	0,137	0,129				
ANa	0,376	0,340	0,395	0,366	0,377	0,340	0,339	0,375	0,286		0,323	0,378	0,300	0,436	0,394	0,352				
AK	0,075	0,066	0,083	0,064	0,072	0,068	0,067	0,086	0,070		0,078	0,145	0,093	0,104	0,095	0,098				
Σ Cátions	15,450	15,407	15,477	15,429	15,449	15,408	15,406	15,461	15,357		15,401	15,523	15,392	15,540	15,489	15,450				



co, marcado pelo enriquecimento em Fe e Mg ( $\text{alm}_{\text{N58,0} \rightarrow \text{B64,9}}$ ,  $\text{prp}_{\text{N5,7} \rightarrow \text{B16,1}}$ ) e diminuição nos valores de Ca e Mn ( $\text{grs}_{\text{N24,9} \rightarrow \text{B7,24}}$ ,  $\text{sps}_{\text{N8,7} \rightarrow \text{B2,11}}$ ) do núcleo para as bordas (Figura 6B). A composição da granada na amostra SG-6 também é dominada pela molécula almandina, seguida por piropo, grossulária e espessartita. O centro composicional do grão coincide com o seu centro geométrico e a partir daí ocorre diminuição de Fe, Mg e Mn em direção às bordas ( $\text{alm}_{\text{N75,4} \rightarrow \text{B74,2}}$ ,  $\text{prp}_{\text{N14,7} \rightarrow \text{B12,2}}$  e  $\text{sps}_{\text{N3,7} \rightarrow \text{B1,7}}$ ) e aumento de Ca ( $\text{grs}_{\text{N4,3} \rightarrow \text{B9,8}}$ ).

Os grãos de granada das amostras com hornblenda (2009-35 e 2009-36) apresentam composições dominadas pela molécula de almandina, a qual é seguida por proporções similares entre piropo e grossulária e depois espessartita. Na amostra 2009-35 a composição dos grãos de granada exibem fraco zonamento químico, e do centro para a borda há empobrecimento em Fe, Mg e Mn ( $\text{alm}_{\text{N63,2} \rightarrow \text{B62,17}}$ ,  $\text{prp}_{\text{N17,4} \rightarrow \text{B16,3}}$  e  $\text{sps}_{\text{N3,9} \rightarrow \text{2,2}}$ ) seguido de um leve enriquecimento de Fe e Ca nas bordas ( $\text{alm}_{\text{B66,1}}$ ,  $\text{sps}_{\text{B3,3}}$ ) (Figura 6C). O Mn tem teor baixo no centro do cristal ( $\text{grs}_{\text{N14,3}}$ ) seguido de aumento ( $\text{grs}_{\text{17,05} \rightarrow \text{17,0}}$ ) e diminuição nas bordas ( $\text{grs}_{\text{B12,45}}$ ). Nos porfiroblastos de granada da amostra 2009-36 (Figura 6D) a molécula predominante é a almandina, seguida da molécula de grossulária, piropo e espessartita. Os grãos apresentam perfil composicional com zonação discreta, exibindo diminuição do núcleo para a borda de Fe e Mn ( $\text{alm}_{\text{N65,2} \rightarrow \text{B62,2}}$ ,  $\text{sps}_{\text{N6,5} \rightarrow \text{B3,9}}$ ), e enriquecimento em Mg ( $\text{prp}_{\text{10,4} \rightarrow \text{13,9}}$ ). O teor de cálcio mostra empobrecimento do núcleo para a borda ( $\text{grs}_{\text{N18,4} \rightarrow \text{114,3}}$ ) seguido de aumento na borda ( $\text{grs}_{\text{B17,3}}$ ).

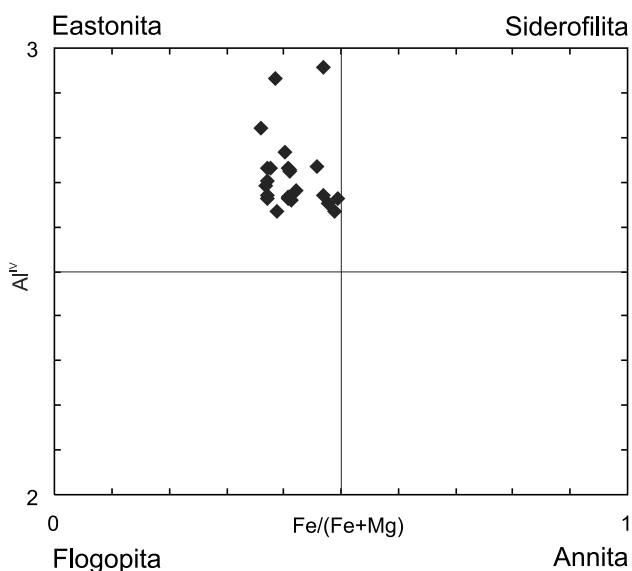


Figura 5. Diagrama de classificação das biotitas analisada (Richard, 1995).

## Plagioclásio

Os cristais de plagioclásio analisados apresentam composição variando entre albita e andesina ( $\text{ab}_{\text{53,6} \rightarrow \text{96,4}}$ ), predominando composições entre oligoclásio e andesina (Figura 7, Tabela 5). Os cristais analisados não exibem zonamento químico, apenas porções de composições diferentes. A albita ocorre nas bordas de alguns grãos, e raramente constitui pequenos grãos dispersos na matriz. As inclusões de plagioclásio em porfiroblastos de granada são de composição mais rica em albita ( $\text{ab}_{\text{89,6} \rightarrow \text{96,4}}$ ) com alguns grãos com composição semelhante à da matriz ( $\text{ab}_{\text{72,7}}$ ).

## Muscovita

Os cristais de mica branca apresentam razão  $\text{Al}^{\text{IV}}/\text{Al}^{\text{VI}}$  entre 0,47 e 0,57, razão  $X_{\text{Mg}}$  entre 0,43 e 0,75, e teor de Si entre 3,065 a 3,138. A razão  $\text{Si}/\text{Al}^{\text{VI}}$ , situada entre 3,28 a 3,64 permite classificá-las como fengita (Tabela 6).

## TERMOBAROMETRIA

Os cálculos das condições  $P$ - $T$  do metamorfismo foram feitos com o programa THERMOCALC (Powell e Holland, 1994) e os resultados obtidos estão mostrados na Tabela 7.

Na área de Morrinhos a temperatura calculada está em torno de 610°C e pressão de ~10 kbar, valores compatíveis com o campo de estabilidade da cianita, a qual está presente em uma das amostras estudadas. Os cálculos efetuados com anfíblio + biotita + plagioclásio + granada + (muscovita) + quartzo (amostras 2009-35 e 2009-36), apresentam variação nos valores de  $P$  e  $T$  ao se considerar os cálculos com ou sem muscovita. Para os cálculos sem muscovita a estimativa de  $P$  fica em torno de 8,5 kbar e a temperatura em ~640°C. O desvio padrão (sd) é maior quando comparados aos cálculos efetuados com a presença de muscovita, que resultam em melhor resultado estatístico, compatível com os valores obtidos para as amostras que envolvem granada + plagioclásio + biotita + muscovita + (cianita) + quartzo.

Na área de Mairipotaba os resultados obtidos são semelhantes aos calculados para as rochas da região de Morrinhos. Em Mairipotaba, as informações petrogenéticas e termobarométricas sugerem um metamorfismo da fácies anfíbolito na zona da cianita-sillimanita, com uma trajetória  $P$ - $T$  progressiva horária, e gradiente de campo metamórfico, acima da trajetória típica do metamorfismo barroviano (razão  $P/T$  mais elevada) (Figura 8). Os dados indicam que o auge do metamorfismo na região ocorreu na fácies anfíbolito com gradiente de  $P$ - $T$  no campo de estabilidade da cianita e estauroлита.

Tabela 3. Análises químicas representativas de biotita. **N** = núcleo, **B** = borda. Os átomos por unidade de fórmula foram calculados na base para 11 oxigênios.

Amostra	2009-0			2009-35			2009-36			PO-108			SG-6		
	b308	b311	b314	b242	b253	b254	b391	b392	b393	b338	b341	b342	92SG-6	94SG-6	96SG-6
SiO <sub>2</sub>	35,84	37,15	36,57	37,58	37,77	37,09	37,43	37,04	36,64	36,75	35,87	36,50	36,02	36,51	33,66
TiO <sub>2</sub>	1,76	1,82	1,90	1,68	1,61	1,52	1,58	1,49	1,76	1,62	1,30	1,68	1,41	1,95	1,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,41	18,51	18,15	18,15	18,40	18,21	17,98	17,87	17,74	17,82	18,32	17,56	17,31	16,94	17,58
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	14,87	15,71	15,45	14,38	14,35	14,64	15,90	15,47	15,99	17,49	16,99	17,34	18,31	18,10	19,40
MnO	0,00	0,00	0,01	0,04	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,07	0,06	0,06	0,04	0,03	0,06
MgO	12,38	12,67	12,64	13,83	13,64	13,91	12,63	12,64	12,88	10,71	11,30	11,00	10,51	10,58	12,35
BaO	0,18	0,29	0,17	0,22	0,21	0,17	0,17	0,18	0,20	0,17	0,17	0,18	0,13	0,11	0,11
CaO	0,01	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,10	0,13	0,14	0,12	0,13	0,16	0,14	0,17	0,05	0,09	0,13	0,05	0,12	0,18	0,11
K <sub>2</sub> O	9,25	9,19	8,95	9,44	8,91	9,37	9,05	9,15	9,32	9,56	8,83	9,63	8,98	9,11	7,60
F	0,00	0,05	0,01	0,09	0,00	0,15	0,01	0,09	0,14	0,15	0,00	0,00	0,20	0,29	0,21
Cl	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,11	0,06	0,08	0,05	0,04	0,03
Σ Óxidos	92,79	95,54	94,00	95,56	95,07	95,23	94,99	94,16	94,74	94,52	93,04	94,06	93,14	93,82	92,51
Si	5,23	5,28	5,27	5,31	5,33	5,27	5,34	5,33	5,27	5,35	5,27	5,33	5,34	5,37	5,04
Al <sup>IV</sup>	2,77	2,73	2,73	2,69	2,67	2,73	2,66	2,67	2,73	2,65	2,73	2,67	2,66	2,63	2,96
Al <sup>VI</sup>	0,40	0,37	0,35	0,33	0,39	0,31	0,36	0,36	0,28	0,40	0,44	0,35	0,36	0,30	0,14
Ti	0,19	0,19	0,21	0,18	0,17	0,16	0,17	0,16	0,19	0,18	0,14	0,19	0,16	0,22	0,16
Fe <sup>2+</sup>	1,82	1,87	1,86	1,70	1,69	1,74	1,90	1,86	1,92	2,13	2,09	2,12	2,27	2,23	2,43
Mn	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Mg	2,70	2,68	2,72	2,91	2,87	2,95	2,69	2,71	2,76	2,32	2,47	2,40	2,32	2,32	2,76
Ba	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Na	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	0,01	0,03	0,04	0,01	0,04	0,05	0,03
K	1,72	1,66	1,65	1,70	1,60	1,70	1,65	1,68	1,71	1,77	1,66	1,79	1,70	1,71	1,45
Σ Cátions	14,86	14,83	14,83	14,87	14,78	14,92	14,82	14,85	14,89	14,85	14,85	14,87	14,86	14,82	14,99
XFe	0,40	0,41	0,41	0,37	0,37	0,37	0,41	0,41	0,41	0,48	0,46	0,47	0,49	0,49	0,47
XMg	0,60	0,59	0,59	0,63	0,63	0,63	0,59	0,59	0,59	0,52	0,54	0,53	0,51	0,51	0,53

Tabela 4. Análises químicas e fórmula estrutural de cristal representativo de granada (2009-0). **N** = núcleo e **B** = borda. Os átomos por unidade de fórmula foram calculados na base para 12 oxigênios.

Amostra	2009-0																	
	B						N											
SiO <sub>2</sub>	37,11	36,67	37,43	37,26	36,79	37,49	37,24	36,64	37,35	36,10	37,27	37,33	37,32	36,58	37,15	36,66	37,40	37,39
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,13	0,00	0,11	0,07	0,00	0,00	0,02	0,11	0,20	0,02	0,22	0,09	1,82	1,20	0,04	0,00	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,13	21,91	22,04	21,99	21,47	22,26	21,81	21,97	21,99	21,45	21,55	21,90	21,82	21,56	21,73	21,50	21,91	22,09
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,03	0,05	0,07	0,01	0,07	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,04	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,80	0,69	0,81	1,25	1,57	0,32	0,57	0,89	0,53	1,00	1,38	0,85	0,01	0,98	0,00	1,41	0,82	0,35
FeO	28,80	29,76	31,20	30,80	30,12	31,38	30,67	30,38	28,97	28,50	27,40	27,82	29,10	28,45	28,47	30,40	29,84	31,20
MnO	1,22	1,43	1,52	1,50	2,32	2,06	2,64	2,67	2,70	3,09	3,21	3,33	3,02	2,70	2,32	2,38	1,89	1,53
MgO	2,95	4,36	4,31	4,02	3,67	4,01	3,45	3,92	3,40	2,43	2,28	2,11	2,19	2,25	2,42	3,58	3,40	3,92
CaO	7,14	3,89	3,38	4,03	3,93	3,30	3,92	3,81	4,72	6,87	6,73	7,51	6,84	7,17	7,11	4,40	4,34	3,11
Σ Óxidos	101,27	98,88	100,74	101,04	99,94	100,87	100,31	101,49	98,97	101,38	98,79	100,48	100,65	101,12	100,69	100,83	99,60	100,70
Si	2,92	2,94	2,95	2,93	2,94	2,95	2,96	2,94	2,94	2,92	2,96	2,96	2,95	2,90	2,93	2,94	2,96	2,96
Ti	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,11	0,07	0,00	0,00	0,00
Al	2,05	2,07	2,05	2,04	2,02	2,07	2,04	2,05	2,08	2,04	2,05	2,02	2,05	2,03	2,02	2,03	2,04	2,06
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe <sup>3+</sup>	0,11	0,04	0,05	0,07	0,09	0,02	0,03	0,05	0,03	0,06	0,08	0,05	0,00	0,06	0,00	0,09	0,05	0,02
Fe <sup>2+</sup>	1,89	1,99	2,06	2,03	2,01	2,07	2,04	1,99	1,95	1,88	1,86	1,85	1,93	1,88	1,89	2,01	2,00	2,13
Mn	0,08	0,10	0,10	0,10	0,16	0,14	0,18	0,18	0,18	0,21	0,22	0,22	0,20	0,20	0,18	0,16	0,16	0,10
Mg	0,35	0,52	0,51	0,47	0,44	0,47	0,41	0,46	0,41	0,29	0,28	0,25	0,26	0,27	0,29	0,42	0,41	0,46
Ca	0,60	0,33	0,29	0,34	0,34	0,28	0,34	0,32	0,41	0,58	0,58	0,64	0,58	0,61	0,37	0,37	0,28	0,26
Σ Cátions	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	7,98	8,00	8,00	8,00
Alm	64,79	67,70	69,71	68,98	68,39	69,98	68,86	67,59	66,08	63,67	63,22	62,39	64,91	63,62	63,77	67,90	68,04	71,98
Pyr	11,82	17,66	17,15	16,05	14,82	15,94	13,81	15,54	13,85	9,67	9,37	8,43	8,71	9,00	9,67	14,24	13,80	15,61
Sps	2,77	3,29	3,46	3,40	5,34	4,64	6,01	6,01	6,25	6,99	7,50	7,55	6,82	6,84	6,12	5,24	5,47	3,48
Gros	15,57	9,26	7,26	7,88	6,97	8,34	9,68	8,15	12,30	16,77	15,87	19,16	19,42	17,72	20,40	12,47	8,62	7,82
And	4,91	1,99	2,29	3,49	4,44	0,91	1,64	2,52	1,52	2,81	3,94	2,46	0,05	2,77	0,00	0,00	4,01	1,01
Uva	0,14	0,09	0,14	0,19	0,05	0,19	0,00	0,19	0,00	0,10	0,09	0,00	0,10	0,05	0,15	0,05	0,05	0,10
Fe/Fe+Mg	84,58	79,31	80,26	81,12	82,19	81,45	83,29	81,31	82,67	86,82	87,09	88,10	88,17	87,60	86,84	82,66	83,13	80,98

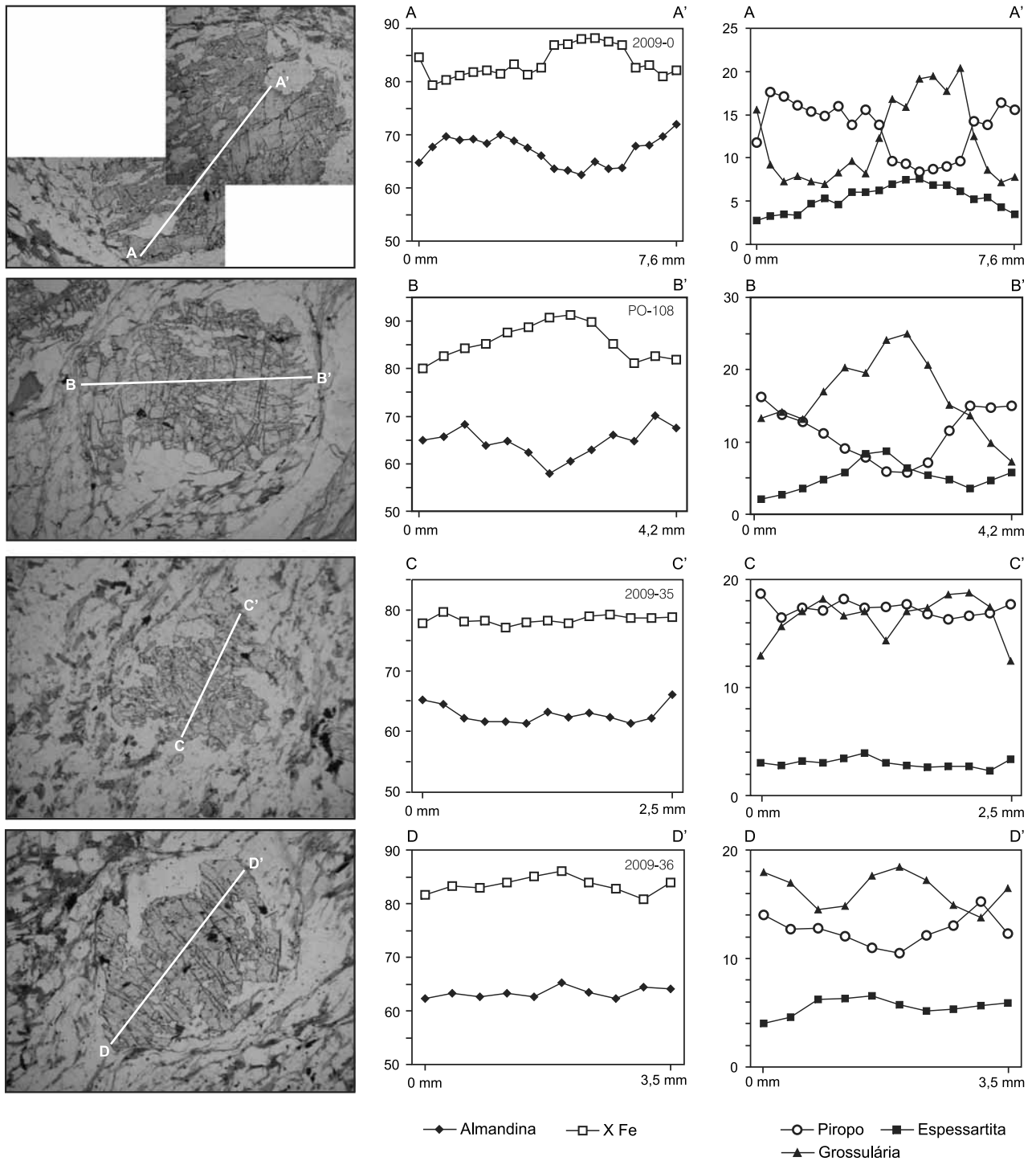


Figura 6. Fotomicrografias de cristais de granada mostrando a localização dos perfis nas amostras (A) 2009-0, (B) PO-108, (C) 2009-35 e (D) 2009-36.

Tabela 5. Análises químicas representativas de plagioclásio. N = núcleo, B = borda. Os átomos por unidade de fórmula foram calculados na base para 8 oxigênios.

Amostra	2009-0			2009-35			2009-36			PO-108			SG-6	
	pl299	pl303	pl263	pl264	pl266	pl398	pl399	pl400	pl346	pl351	pl353	pl113	pl121	pl22
SiO <sub>2</sub>	59,39	60,25	57,62	57,83	57,40	60,63	61,07	60,98	59,06	60,34	60,28	60,41	61,64	61,61
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,05	0,07	0,00	0,04	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,85	25,72	28,01	27,39	28,56	25,91	25,68	25,93	25,32	25,51	25,35	24,63	24,26	24,21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,13	0,03	0,00	0,05	0,00	0,07	0,00	0,04	0,02	0,08	0,07	0,06	0,07
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,01
MgO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	6,74	6,76	9,32	8,91	9,41	6,52	6,38	6,70	6,31	6,54	6,20	6,06	6,02	5,89
Na <sub>2</sub> O	7,63	7,59	6,35	6,58	6,08	7,76	7,94	8,25	7,65	7,80	7,69	8,52	8,65	8,49
K <sub>2</sub> O	0,04	0,04	0,04	0,05	0,07	0,04	0,05	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,06	0,07
Σ Óxidos	99,70	99,65	101,37	100,76	101,58	100,88	101,24	101,93	98,47	100,33	99,74	99,80	100,72	100,42
Si	10,61	10,62	10,19	10,28	10,13	10,68	10,72	10,66	10,67	10,70	10,73	10,78	10,89	10,90
Al	5,44	5,42	5,83	5,73	5,93	5,38	5,31	5,34	5,39	5,33	5,31	5,18	5,05	5,05
Fe <sup>3+</sup>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Ti	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Fe <sup>2+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	1,29	1,28	1,77	1,70	1,78	1,23	1,20	1,25	1,22	1,24	1,18	1,16	1,14	1,12
Na	2,64	2,65	2,18	2,27	2,08	2,65	2,70	2,80	2,68	2,68	2,66	2,95	2,96	2,91
K	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Σ Cátions	19,99	19,98	19,98	19,99	19,94	19,95	19,96	20,07	19,98	19,97	19,92	20,10	20,06	20,02
Ab	67,10	67,30	66,80	65,10	67,10	68,10	69,10	68,80	68,40	68,00	68,90	71,60	72,00	72,00
Na	32,70	32,60	32,90	44,70	42,60	31,60	30,60	30,90	31,20	31,50	30,70	28,10	27,70	27,60
Or	0,20	0,10	0,30	0,20	0,40	0,20	0,30	0,30	0,50	0,50	0,40	0,30	0,30	0,40



Tabela 6. Análises químicas representativas de muscovita. **N** = núcleo, **B** = borda. Os átomos por unidade de fórmula foram calculados na base para 11 oxigênios.

Amostra	2009-0			2009-35			2009-36			PO-108			SG-6		
	M304	m306	m309	m238	m241	M256	m397	m394	m395	m337	b339	m340	n21	n22	n23
SiO <sub>2</sub>	46,21	45,85	46,47	46,50	45,84	46,12	45,97	46,79	46,62	47,55	46,67	46,38	46,17	45,26	45,84
TiO <sub>2</sub>	0,53	0,58	0,46	0,09	0,72	0,51	0,65	0,33	0,30	0,42	0,40	0,72	0,57	0,83	0,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,57	34,41	34,71	35,38	34,71	34,54	33,95	33,98	34,08	34,29	34,64	34,00	34,41	33,84	34,02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	1,18	1,42	1,36	1,25	1,50	1,44	1,85	1,85	1,42	1,46	1,24	1,46	1,69	1,91	1,82
MnO	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,00
MgO	1,08	1,12	1,12	1,01	1,21	1,17	1,19	1,29	1,20	1,19	1,09	1,15	0,78	0,82	0,78
CaO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	1,28	1,16	1,17	1,41	1,16	1,32	1,00	0,87	1,08	1,18	1,32	0,79	1,47	1,46	1,30
K <sub>2</sub> O	9,18	8,94	9,26	8,96	9,67	8,63	9,33	9,79	9,69	9,64	9,23	9,96	8,85	9,08	9,01
F	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,22	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Σ Óxidos	94,06	93,50	94,59	94,73	94,82	93,73	93,96	94,92	94,44	95,96	94,60	94,59	94,00	93,20	93,37
Si	5,63	5,62	5,64	5,62	5,57	5,63	5,63	5,68	5,68	5,71	5,66	5,66	5,64	5,60	5,64
Al <sup>IV</sup>	2,37	2,38	2,36	2,38	2,43	2,37	2,37	2,32	2,32	2,29	2,34	2,35	2,36	2,40	2,36
Al <sup>VI</sup>	2,60	2,59	2,60	2,66	2,54	2,60	2,53	2,54	2,57	2,55	2,60	2,54	2,59	2,53	2,58
Ti	0,05	0,05	0,04	0,01	0,07	0,05	0,06	0,03	0,03	0,04	0,04	0,07	0,05	0,08	0,06
Fe <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe <sup>2+</sup>	0,12	0,15	0,14	0,13	0,15	0,15	0,19	0,19	0,15	0,15	0,13	0,15	0,17	0,20	0,19
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Mg	0,20	0,20	0,20	0,18	0,22	0,21	0,22	0,23	0,22	0,21	0,20	0,21	0,14	0,15	0,14
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,30	0,28	0,28	0,33	0,27	0,31	0,24	0,21	0,26	0,27	0,31	0,19	0,35	0,35	0,31
K	1,43	1,40	1,43	1,38	1,50	1,34	1,46	1,52	1,51	1,48	1,43	1,55	1,38	1,43	1,42
Σ Cátions	12,69	12,67	12,69	12,70	12,75	12,66	12,70	12,72	12,72	12,70	12,70	12,70	12,69	12,74	12,69
XFe	0,38	0,42	0,40	0,41	0,41	0,41	0,46	0,45	0,40	0,41	0,39	0,41	0,55	0,57	0,57
XMg	0,62	0,58	0,60	0,59	0,59	0,59	0,54	0,55	0,60	0,59	0,61	0,59	0,45	0,43	0,43

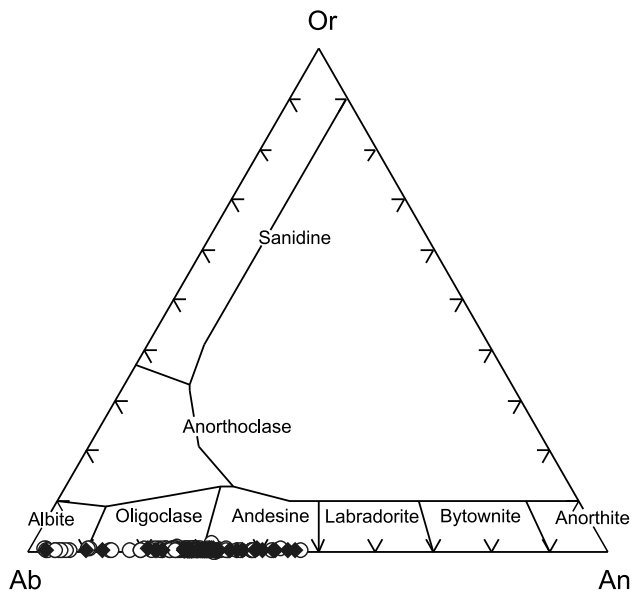


Figura 7. Diagrama de classificação de plagioclásios (Richard, 1995).

Tabela 7. Resultados das condições *P* e *T* do metamorfismo calculados com o programa THERMOCALC.

Amostra	<i>P</i> (kbar)	<i>T</i> (°C)
1 - 2009-0	9,76 ± 0,69	618 ± 19
2 - 2009-35	10,20 ± 0,55	607 ± 14
3 - 2009-36	10,34 ± 0,54	609 ± 14
4 - PO-108	9,4 ± 1,0	604 ± 27
5 - SG-6	8,5 ± 0,6	570 ± 19

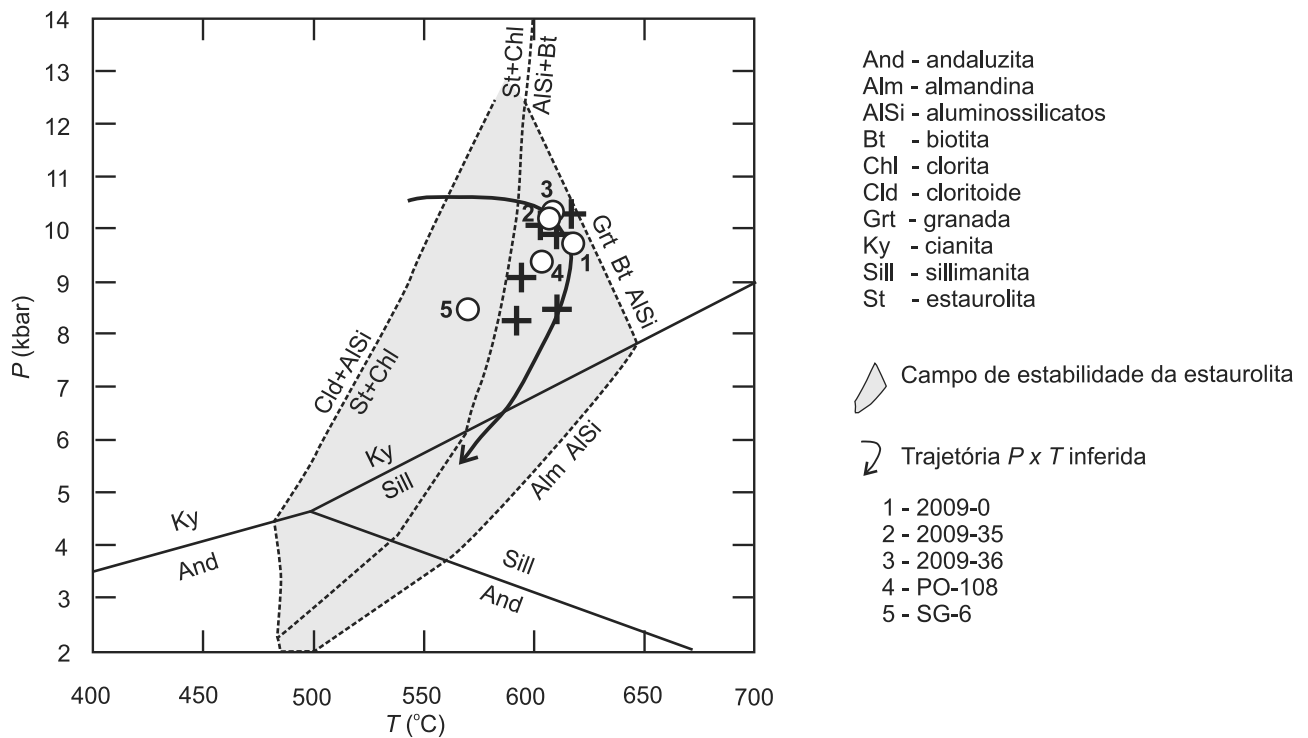


Figura 8. Diagrama *P* x *T* mostrando a trajetória do metamorfismo das rochas estudadas do Grupo Araxá nas regiões de Morrinhos (círculos) e Mairipotaba (cruzes). A trajetória *P-T* inferida (seta) é aquela observada na região de Mairipotaba (Navarro et al., 2009).

## CONCLUSÕES

Na região de Morrinhos, as informações de química mineral mostram que os xistos não são pelitos verdadeiros, pois apresentam minerais cálcicos como constituintes principais. Os dados termobarométricos mostram que o pico metamórfico atingiu seu ápice na fácies anfíbolito no campo de estabilidade da cianita ( $T \sim 610^{\circ}\text{C}$  e  $P \sim 10$  kbar).

Na região de Mairipotaba os resultados são semelhantes aos obtidos na região de Morrinhos (Figura 8), onde as informações termobarométricas indicam uma trajetória  $P$ - $T$  no sentido horário, e que o auge metamórfico ocorre na fácies anfíbolito, também no campo de estabilidade da cianita, compatível com um ambiente colisional. As associações minerais relacionadas ao pico metamórfico e as deformações regionais registradas nas rochas do Grupo Araxá são correlacionáveis, tanto na região de Mairipotaba quanto na região de Morrinhos.

## AGRADECIMENTOS

A FAPESP (Processos nº 08/50723-0 e 05/59203-1) e CNPq (Processo nº 301216/2008-8).

## REFERÊNCIAS

- CAMPOS NETO, M. C.; CABY, R. Neoproterozoic High-Pressure Metamorphism and Tectonic Constraint from the Nappe System South of the São Francisco Craton, Southeast Brazil. *Precambrian Research*, v. 97, n.3, p. 26, 1999.
- CAMPOS NETO, M. C.; CABY, R. Terrane accretion and upward extrusion of high-pressure granulites in the Neoproterozoic nappes of Southeast Brazil: petrology and structural constraints. *Tectonics*, v. 19, n. 4, p. 669-687, 2000.
- DEL LAMA, E. A.; OLIVEIRA, M. A. F.; ZANARDO, A. geotermobarometria em rochas do Complexo Campos Gerais ao norte da Zona de Cisalhamento Varginha. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 24, n. 4, p. 1-7, 1994.
- DRAKE JR., A. A. The Serra de Caldas windows. *U. S. Geological Survey, Professional Paper*, 1999-A/B, p. 1-11, 1980.
- FISCHEL, D. P.; PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. Idade do metamorfismo de alto grau no Complexo Anápolis-Itaçu, Goiás, determinada pelo método Sm-Nd. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 28, n. 4, p. 543-544, 1998.
- FUCK, R. A. Dobramentos neoproterozóicos da margem Ocidental do Cráton do São Francisco: revisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. *Boletim Resumos Expandidos...*, Natal: SBG, 1990. v. 1, p. 288-289.
- FUCK, R. A.; JARDIM de SÁ, E. F.; PIMENTEL, M. M.; DARDENNE, M. A.; PEDROSA SOARES, A. C. As Faixas de Dobramentos Marginais do Cráton do São Francisco: Síntese dos Conhecimentos. In: DOMINGUEZ J. M. L.; MISI, A. (Coord.). *O Cráton do São Francisco*. Salvador: SBG, 1993. p. 161-185.
- LACERDA FILHO, J. V. DE; OLIVEIRA, C. C. Geologia da Região Centro-Sul de Goiás. *Boletim de Geociências do Centro-Oeste*, v. 18, n. 1-2, p. 3-19, 1995.
- LACERDA FILHO, J. V.; REZENDE, A.; SILVA, A. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal. 2ª ed. Goiânia: CPRM/METAGO/UnB, 2000. Escala 1:500.000. 1. CD-ROM.
- LEAKE, B. E.; WOOLLEY, A. R.; ARPS, C. E. S.; BIRCH, W. D.; GILBERT M, C.; GRICE, J. D.; HAWTHORNE, F. C.; KATO, A.; KISCH, H. J.; KRIVOVICHEV, V. G.; LINTHOUT, K.; LAIRD, J. O.; MANDARINO, J. A.; MARESCH, W. V.; NICKEL, E. H.; ROCK, N. M. S.; SCHUMACHER, J. C.; SMITH, D. C.; STEPHENSON, N. C. N.; UNGARETTI, L.; WHITTAKER, E. J. W.; YOUZHI, G. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *American Mineralogist*, v. 82, p. 1019-1037, 1997.
- LUVIZOTTO, G. L. *Caracterização metamórfica das rochas do Grupo Araxá na região de São Sebastião do Paraíso, Sudoeste de Minas Gerais*. 2003. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2003.
- MARINI, O. J.; FUCK, R. A.; DARDENE, M. A.; DANNI, J. C. M. Províncias Tocantins: setores Central e Sudeste. In: ALMEIDA F. F. M.; HASUI Y. (Coord.). *O Pré-cambriano do Brasil*. São Paulo: Edgar Blücher, 1984. p. 205-264.
- MORAES, R.; BROWN, M.; FUCK, R. A.; CAMARGO, M. A.; LIMA, T. M. Characterization and P - T evolution of melt-bearing ultrahigh-temperature granulites: an example from the Anápolis-Itaçu Complex of the

- Brasília Fold Belt, Brazil. *Journal of Petrology*, v. 43, n. 9, p. 1673-1705, 2002.
- NAVARRO, G. R. B.; MORAES, R.; ZANARDO, A.; SIMÕES, L. S. A.; CONCEIÇÃO, F. T. Trajetória *P-T* e condições do metamorfismo usadas como ferramenta para compartimentação tectônica da Faixa Brasília em Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 39, n. 3, p. 554-559, 2009.
- OLIVEIRA, C. C. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Folha SE.22-X-B-V - Leopoldo de Bulhões. Goiânia: CPRM/DNPM, 1994. 151 p. Escala 1:100.00.
- OLIVEIRA, M. A. F.; CARVALHO, S. G. de; MORALES, N.; RODRIGUES, M. F. B.; ZANARDO, A. Geologia das quadrículas de Cássia e São Sebastião do Paraíso - MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 2., 1983, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SBG, 1983, *Boletim* nº 3, p. 11-4.
- PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Geology*, v. 20, p. 375-379, 1992.
- PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; JOST, H.; FERREIRA FILHO, C. F.; ARAUJO, S. M. The basement of the Brasília Fold Belt and the Goiás magmatic arc. In: CORDANI U. G., THOMAS FILHO A., CAMPOS D. A. (Coord.). *Tectonic Evolution of South America*, Rio de Janeiro: SBG, 2000. p. 195-229.
- PIMENTEL, M. M.; DARDENNE, M. A.; FUCK, R. A.; VIANA, M. G.; JUNGES, S. L.; FISCHER, D. P.; SEER, H. J.; DANTAS, E. L. Nd isotopes and the provenance of detrital sediments of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 14, p. 571-585, 2001.
- PIUZANA, D.; PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; ARMSTRONG, R. A. Sedimentation age of the Araxá Group, southern Brasília Belt, based on U-Pb shrimp data from micaschist, Bonfinópolis amphibolite and intrusive tonalite. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4., 2003a, Salvador. *Actas...* Salvador: SBG, v. 1, p. 652-655.
- PIUZANA, D.; PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; ARMSTRONG, R. A. SHRIMP U-Pb and Sm-Nd data for the Araxá Group and associated magmatic rocks: constraints for the age of sedimentation and geodynamic context of the southern Brasília Belt, central Brazil. *Precambrian Research*, v. 125, p. 139-160, 2003b.
- POWELL, R.; HOLLAND, T. Optimal geothermometry and geobarometry. *American Mineralogist*, v. 79, p. 120-144, 1994.
- REZENDE, A.; NILSON, A. A.; SILVA, A. da; ALVARENGA, C. J. S. de; GEBRIM, E.; GODOI, H. O.; LACERDA FILHO, J. V. de; DANNI, J. C. M.; CAMPOS, J. E. G.; BRILHANTE, J. R.; DARDENNE, M. A.; RESENDE, M.; PIMENTEL, M. M.; FRANCISQUINI, N.; BARBOSA, P. A. R.; BOAS, P. F. V.; LIMA, T. M.; FILHO, W. R. Descrição das Unidades Litoestratigráficas. In: LACERDA FILHO, J. V. de; REZENDE, A.; SILVA, A. da (Coord.). *Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal*. Goiânia: CPRM, METAGO S.A., UnB. 1999. p. 31-78.
- RICHARD L. R. *Mineralogical and Petrological Data Processing System*. MINPET for Windows. Version 2.02. Copyright 1988-1995.
- SIMÕES, L. S. A. *Evolução tectonometamórfica da Nappe de Passos, Sudoeste de Minas Gerais*. 1995. 1v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP, 1995.
- SIMÕES, L. S. A.; VALERIANO, C. M.; MORALES, N.; ZANARDO, A.; MORAES, R.; GOMI, C. Y. Zonação metamórfica inversa do Grupo Araxá-Canastra na região de São Sebastião do Paraíso-Alpinópolis, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1998, Belém. *Anais...* Belém: SBG, 1998. v. 3, p. 1203-1215.
- STRIEDER, A. J.; NILSON, A. A. Melange ofiolítica nos metassedimentos Araxá de Abadiânia (GO) e implicações tectônicas regionais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 22, n. 2, p. 204-215, 1992a.
- STRIEDER, A. J.; NILSON, A. A. Estudo petrológico de alguns fragmentos tectônicos da melange ofiolítica em Abadiânia (GO): I - O protólito dos corpos de serpentinito. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 22, n. 3, p. 329-337, 1992b.
- VALERIANO, M. C.; DARDENNE, M. A.; FONSECA, M. A.; SIMÕES, L. S. A.; SEER, H. J. A evolução tectônica da Faixa Brasília. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. DAL RÉ; BRITO NEVES, B. B. de (Org.). *Geologia do Continente Sul-*

*Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.* São Paulo: Beca, 2004. p. 575-592.

WINGE, M. *Evolução dos terrenos granulíticos da Província Tocantins, Brasil Central.* 1995. 1 v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília - UnB, 1995.

ZANARDO, A.; MORALES, N.; DEL LAMA, E. A. Evolução metamórfica do Grupo Araxá-Canastra na região de Passos (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. *Anais...* São Paulo: SBG, 1992. v. 1, p. 408-409.

ZANARDO, A.; OLIVEIRA, M. A. F. de; DEL LAMA, E. A.; CARVALHO, S. G. de. Geologia do Grupo Araxá de Passos-São Sebastião do Paraíso, sul de Minas Gerais. *Geociências*, v. 15, n. 1, p. 253-278, 1996a.

ZANARDO, A.; MORALES, N.; CARVALHO, S. G. de; SIMÕES, L. S. A.; OLIVEIRA, M. A. F. Evolução metamórfica da porção sul do Cráton do Paramirim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. *Anais...* Natal: SBG, 1990. v. 4, p. 1945-1955.