

## CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS DOS METASSEDIMENTOS DO GRUPO ARAXÁ NA REGIÃO DA PALEOZONA DE SUTURA DE ALTEROSA: CINTURÃO GRANULÍTICO DE ALTA PRESSÃO

*PETROGRAPHIC CHARACTERISTICS OF ARAXÁ GROUP METASEDIMENTS IN THE ALTEROSA SUTURE PALEOZONE: HIGH-PRESSURE GRANULITIC BELT*

Thaís Güitzlaf LEME<sup>1</sup>, Antenor ZANARDO<sup>2</sup>, Guillermo Rafael Beltran NAVARRO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Pós-graduação em Geociências e Meio ambiente. Avenida 24-A, 1.515. Bela Vista – Rio Claro – SP. E-mail: thaís.g.leme@unesp.br

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Departamento de Geologia. Avenida 24-A, 1.515. Bela Vista – Rio Claro – SP. E-mails: antenor.zanardo@unesp.br, guillermo.navarro@unesp.br

Introdução  
Materiais e métodos  
Geologia local e petrografia  
Geologia  
Petrografia  
Química mineral  
Discussões  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências

**Resumo** - No sudoeste do estado de Minas Gerais, na região de Guaxupé, o Grupo Araxá ocorre como uma faixa de aproximadamente 20 km de largura, estruturada segundo a direção E-W a WNW-ESE, que aflora entre o Complexo Barbacena e o Complexo Guaxupé, no contexto da Paleozona de Sutura de Alterosa. Este trabalho apresenta a caracterização petrográfica das litologias e das associações minerais metamórficas das rochas metassedimentares que ocorrem entre as zonas de cisalhamento Varginha (ZCV) e Campos Gerais (ZCCG), localizadas na porção meridional dessa faixa de rochas. Na área de estudo, o Grupo Araxá é constituído por rochas metassedimentares pelíticas, psamo-pelíticas e grauvaqueanas, representadas por paragneisses, quartzos xistos e quartzitos contendo granada, cianita, ortoclásio, oligoclásio/andesina e rutilo. As paragêneses do auge metamórfico são pré- a cedo- desenvolvimento da foliação principal (Sn) e indicam condições de fácies granulito de alta pressão, com temperaturas mínimas da ordem de 800°C, no campo de estabilidade da cianita. Essas paragêneses foram superpostas por associações minerais do reequilíbrio metamórfico em condições de fácies granulito a anfibolito superior, durante o desenvolvimento da foliação Sn. A trajetória metamórfica *P-T* apresenta sentido horário. As rochas metassedimentares que ocorrem entre as ZCV e ZCCG representam um cinturão granulítico de alta pressão. **Palavras-chave:** Petrografia. Metassedimentos. Granulito de alta pressão. Paleozona de Sutura de Alterosa. Faixa Brasília Meridional.

**Abstract** - In the southwest Minas Gerais state, in the Guaxupé region, the Araxá Group occurs as an E-W to WNW-ESE belt, with approximately 20 km wide, which crops out between the Barbacena Complex and the Guaxupé Complex, in the Alterosa Suture Paleozoone. This paper presents petrographic lithologies and metamorphic assemblage characterization of the metasedimentary rocks that occur between the Varginha (VSZ) and Campos Gerais (CGSZ) shear zones, located in the southern portion of this belt. In the study area, the Araxá Group is composed of pelitic, psammo-pelitic and graywacke metasedimentary rocks, represented by paragneisses, quartz schists, and quartzites bearing garnet, kyanite, orthoclase, oligoclase/andesine, and rutile. The metamorphic peak paragenesis is pre to early main foliation (Sn) development and indicates high-pressure granulite facies conditions, with minimum temperatures of the order of 800°C, in the kyanite stability field. These paragenesis were superimposed by mineral assemblages from metamorphic reequilibration in granulite to upper amphibolite facies conditions, during the Sn foliation development. The metamorphic *P-T* path is clockwise. The metasedimentary rocks that occur between the VSZ and CGSZ represent a high-pressure granulitic belt.

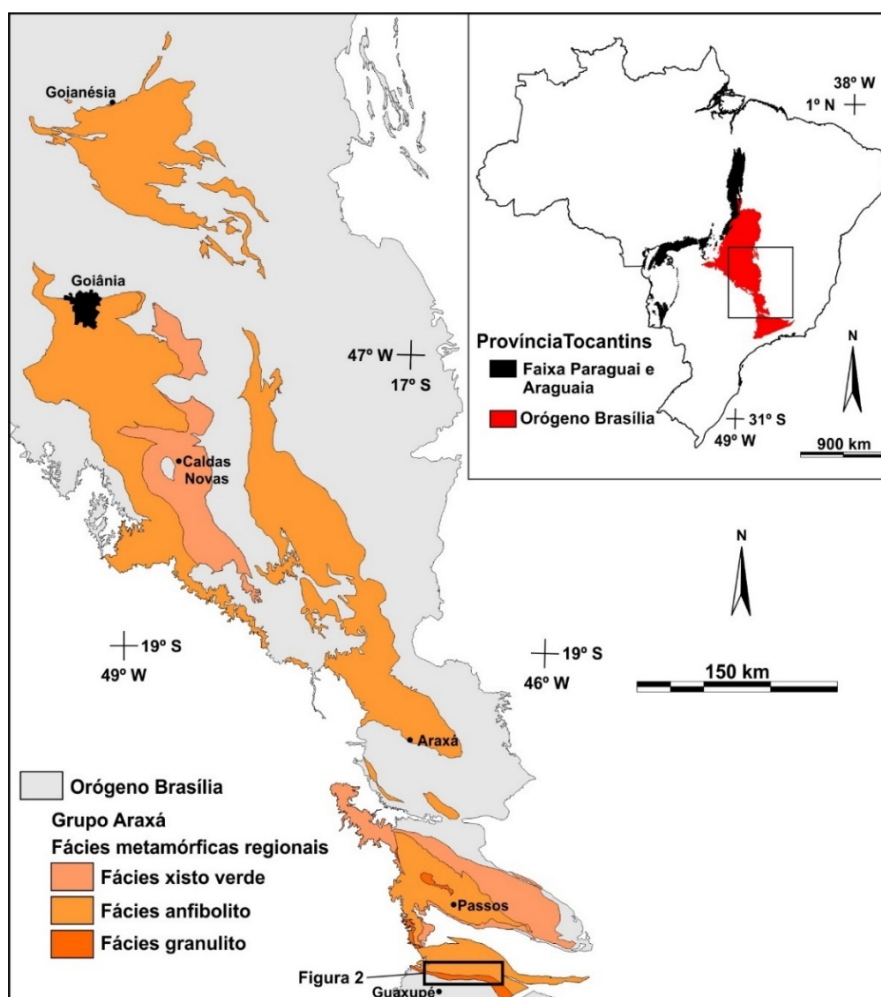
**Keywords:** Petrography. Metasediments. High-pressure granulite. Alterosa Suture Paleozoone. Southern Brasília Belt.

### INTRODUÇÃO

O Grupo Araxá (Barbosa, 1955), ao longo de sua extensão, é representado por um sistema de *nappes* com vergência para E, empurradas sobre outras unidades da Faixa Brasília, que por sua vez cavalgam as unidades do Cráton do São Francisco (Figura 1).

Essa unidade corresponde a uma extensa faixa constituída por rochas metassedimentares pelíticas, psamo-pelíticas e psamíticas neoproterozoicas, depositadas em ambientes de margem passiva e

de bacias *fore-arc/back-arc*, que ocorrem desde a região de Guaxupé (MG) até a região de Goiás (GO). Intercalado nos metassedimentos, ocorrem diversos registros de rochas metamáficas e metaultramáficas, interpretadas como parte de *mélanges* ofiolíticas (Drake Jr., 1980; Strieder & Nilson, 1991; Zanardo et al., 1996; Seer et al., 2001; Navarro & Zanardo, 2005, entre outros), sugerindo o envolvimento de crosta oceânica durante a fase orogénica da faixa. Ao longo da



**Figura 1** – Mapa simplificado do Orógeno Brasília com destaque para o Grupo Araxá e distribuição das condições de fácies metamórficas na unidade. (Modificado de Zanardo, 1992; Simões, 1995; Simões & Navarro, 1996; Navarro et al., 2009, 2011, 2019).

unidade também ocorrem intercalações de rochas granitoides, representadas por corpos deformados de granitos sin-colisionais (tipo-S), principalmente na porção norte do Grupo, além de intercalações de rochas ortoderivadas de idades paleoproterozoicas a neoproterozoicas.

No Grupo Araxá, as condições de metamorfismo variam entre fácies xisto verde superior a anfíbolito médio/superior, com ocorrências restritas de regiões/porções que indicam auge metamórfico em fácies granulito a granulito de alta pressão (Figura 1) (Zanardo, 1992; Del Lama et al., 1994; Simões, 1995; Zanardo et al., 1996; Leme, 2019, 2023).

A idade de metamorfismo ao longo da faixa de metassedimentos registra, sistematicamente, idades variando entre 650 e 600 Ma (Seer, 1999; Valeriano et al., 2000, 2004; Silva, 2003; Piuzeana et al., 2003; Simões, 2005; Leme, 2023). Os dados estruturais indicam que o auge metamórfico é pré- a sin- deformação principal, sugerindo que a principal fase deposicional desta unidade é mais antiga que 650 Ma. Associado aos metas-

sedimentos ocorrem diversos corpos graníticos classificados como do tipo S. A presença de corpos leucograníticos de produto de fusão dos metassedimentos do grupo, intensamente deformados e foliados, com idades entre 650 e 600 Ma, corroboram a idade de sedimentação anterior 650 Ma (Seer et al., 2005; Navarro et al., 2010).

Na região de Guaxupé (MG), o Grupo Araxá ocorre como uma faixa de aproximadamente 20 km de largura, que aflora entre o Complexo Barbacena (embasamento do Cráton do São Francisco) na região de Jacuí – Bom Jesus da Penha, a norte, e o Complexo Guaxupé na região de Santa Cruz do Prata – Juruáia – Monte Belo, a sul (Zanardo et al., 1996, 2006). Esse conjunto ocorre estruturado segundo a direção E-W a WNW-ESE, constituído por uma sequência metassedimentar psamo-pelítica, com intercalações de ortognaisses e granitoides sin-tectônicos, além de intercalações de rochas de origem máfica/ultramáfica interpretadas como uma sequência ofiolítica (Zanardo, 1992; Morales, 1993; Del Lama et al., 1994; Zanardo et al., 1996, 2006; Leme,

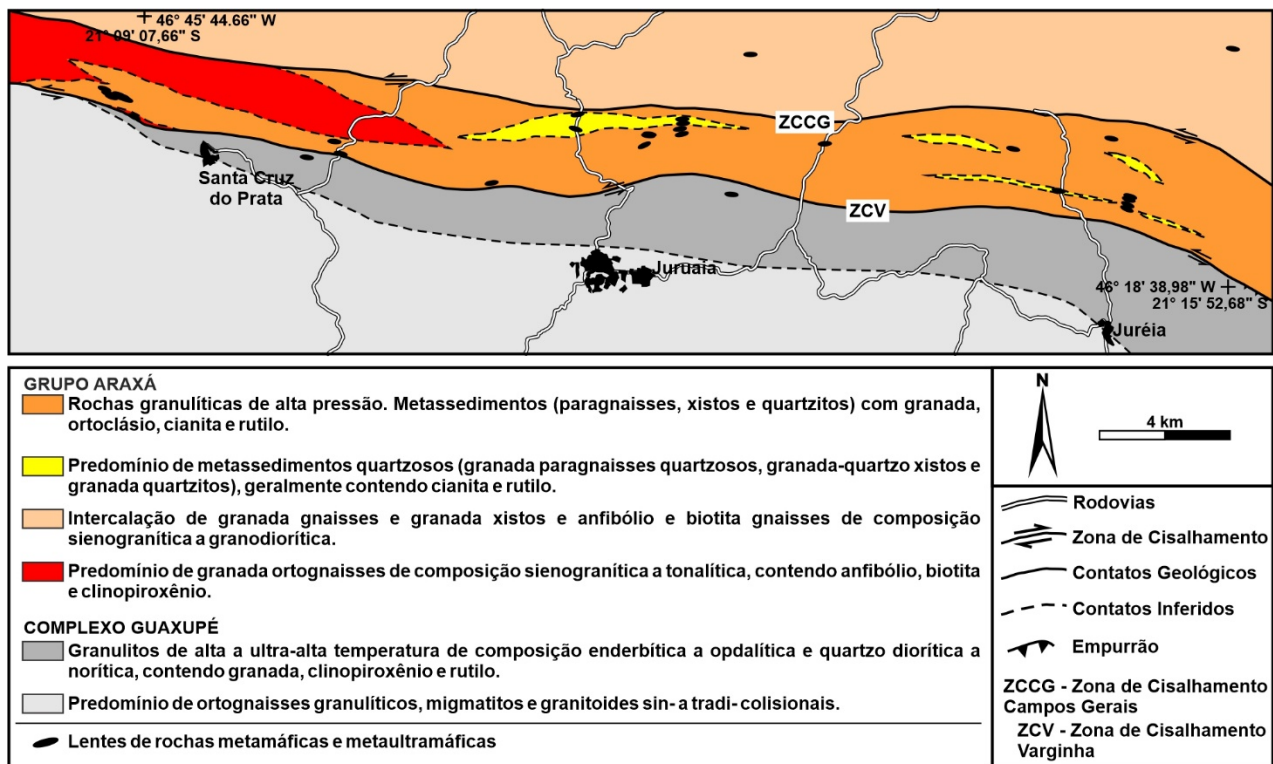
2019). A faixa atribuída ao Grupo Araxá apresenta contato tectônico com o Complexo Guaxupé por meio da Zona de Cisalhamento Varginha (ZCV) ao sul e contato tectônico com o Complexo Barbacena pela Zona de Cisalhamento Riacho Fundo (ZCRF) a noroeste, e pela Zona de Cisalhamento Petúnia (ZCP) a nordeste (Zanardo et al., 2006).

Essa faixa do Grupo Araxá ocorre no contexto da Paleozona de Sutura de Alterosa, delimitada por grande anomalia gravimétrica *Bouguer* (Almeida et al., 1980; Haralyi & Hasui, 1982; Haralyi et al., 1985; Ebert & Hasui, 1998; Braga & Ebert, 2006), e é interpretada como o limite entre os paleocontinentes do São Francisco e Paranapanema, aglutinados durante a formação do supercontinente Gondwana Oeste, no Neoproterozoico.

Essa sequência de rochas recebeu diferentes denominações no decorrer da evolução do conhecimento geológico, devido a sua complexidade tectono-litológica, sendo incluída inicialmente como parte do Complexo Campos Gerais e posteriormente foi correlacionada aos Grupos Araxá e Andrelândia. Neste trabalho é adotada a denominação de “Grupo Araxá” para as rochas que ocorrem entre as ZCV, ZCRF e ZCP, seguindo a proposta de Zanardo (1992) e Zanardo et al. (1996).

Estudos já realizados nessa sequência tiveram como foco principal o mapeamento geológico, litológico e estrutural de caráter mais regional (Zanardo et al., 1990, 1996, 2006; Zanardo, 1992; Morales, 1993). Estudos termobarométricos mostram que as condições *P-T* das rochas do Grupo Araxá na região foram metamorfisadas em fácies anfibolito superior em condições de 700-750°C e 10,5-13,0 kbar e localmente atingiu fácies granulito balizadas entre 830-900°C e 12,5-15,0 kbar (Del Lama, 1993; Del Lama et al., 1994). Trabalhos mais recentes de Leme (2016, 2019) e Leme et al. (2019, 2020a) descrevem a ocorrência de retroeclogitos e granulitos de alta pressão na porção meridional dessa faixa, entre as zonas de cisalhamento Campos Gerais (ZCCG) e ZCV (Figura 2).

Apesar dos dados já publicados para esta sequência de rochas, não existem estudos petrológicos detalhados ao longo da faixa separada pelas zonas de cisalhamento. Nesse contexto, esse trabalho tem por objetivo caracterizar as litologias e as associações minerais metamórficas das rochas metassedimentares que ocorrem entre as ZCV e ZCCG a fim de obter dados que contribuam para as discussões da evolução metamórfica dessa faixa de rochas dentro do contexto da Faixa Brasília Meridional e da Paleozona de Sutura de Alterosa.



**Figura 2** - Mapa geológico simplificado mostrando o limite meridional entre o Grupo Araxá e o Complexo Guaxupé, as litologias que ocorrem entre as ZCV e ZCCG e a localização das amostras estudadas (Modificado de Zanardo, 1992; Zanardo et al., 1996; Leme et al., 2020b; Leme, 2023).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Após a caracterização petrográfica, foram selecionadas três amostras de rochas metassedimentares para análises de química mineral por microsonda eletrônica (*Electron Probe Micro Analyzer* - EPMA) da marca JEOL modelo JXA-8230 *superprobe*. As análises foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica, no Departamento de Geologia, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP, campus de Rio Claro. As lâminas foram polidas e metalizadas com carbono em câmara de vácuo

e então analisadas por EPMA. Foram realizadas análises em cristais de granada, feldspatos, biotita, muscovita e cianita, sob condições de aceleração de 15 kV, corrente de 20 nA, diâmetro do feixe de 10  $\mu\text{m}$ , com padrões de óxidos naturais e sintéticos para calibração de rotina. O tempo de contagem para os elementos maiores foi de 10 segundos no pico e 5 segundos em cada *background*. Para os elementos menores, o tempo de contagem foi de 20 segundos no pico e 10 segundos para cada *background*.

## GEOLOGIA LOCAL E PETROGRAFIA

### Geologia

O contato entre Grupo Araxá e o Complexo Guaxupé (a sul da ZCV) é tectônico, marcado por zona de cisalhamento sinistral com direção E-W a WNW e mergulho alto a moderado para S a SSW. O contato entre as unidades é abrupto, em parte de difícil caracterização, devido à falta de afloramentos e continuidade entre os tipos de rochas.

Entre as ZCV e ZCCG, o Grupo Araxá é constituído por rochas metassedimentares pelíticas, psamo-pelíticas e grauvaqueanas com intercalações de granada ortognaisses e intercalações subordinadas de rochas metamáficas e metaultramáficas. Os litotipos mais comuns são representados por granada para-gnaisses, granada paragnaisses quartzosos, cianita-granada paragnaisses, cianita-granada-quartzo xistos (feldspáticos ou não), cianita-granada quartzitos, granada quartzitos, granada ortognaisses (com anfibólio, biotita e clinopiroxênio), além de rochas metamáficas como anfibólitos com granada e clinopiroxênio, granada-clinopiroxênio gnaisses anfibolíticos, retroeclogitos, granulitos máficos e lentes subordinadas de rochas metaultramáficas, geralmente representadas por anfibólio xistos e anfibólio *fels*. Intercaladas nessas litologias, é comum a ocorrência de camadas centimétricas descontínuas constituídas por mais de 50% de granada.

A principal estrutura presente na área corresponde a uma foliação principal (Sn) anastomosada, paralela ao bandamento composicional. O bandamento composicional é frequentemente descontínuo, representado pela alternância de cores (principalmente em litotipos alterados); pela alternância de agregados minerais lenticulares e *ribbons* de quartzo; pela alternância de bandas e/ou lâminas de composição contrastante, geralmente entre bandas ricas em minerais

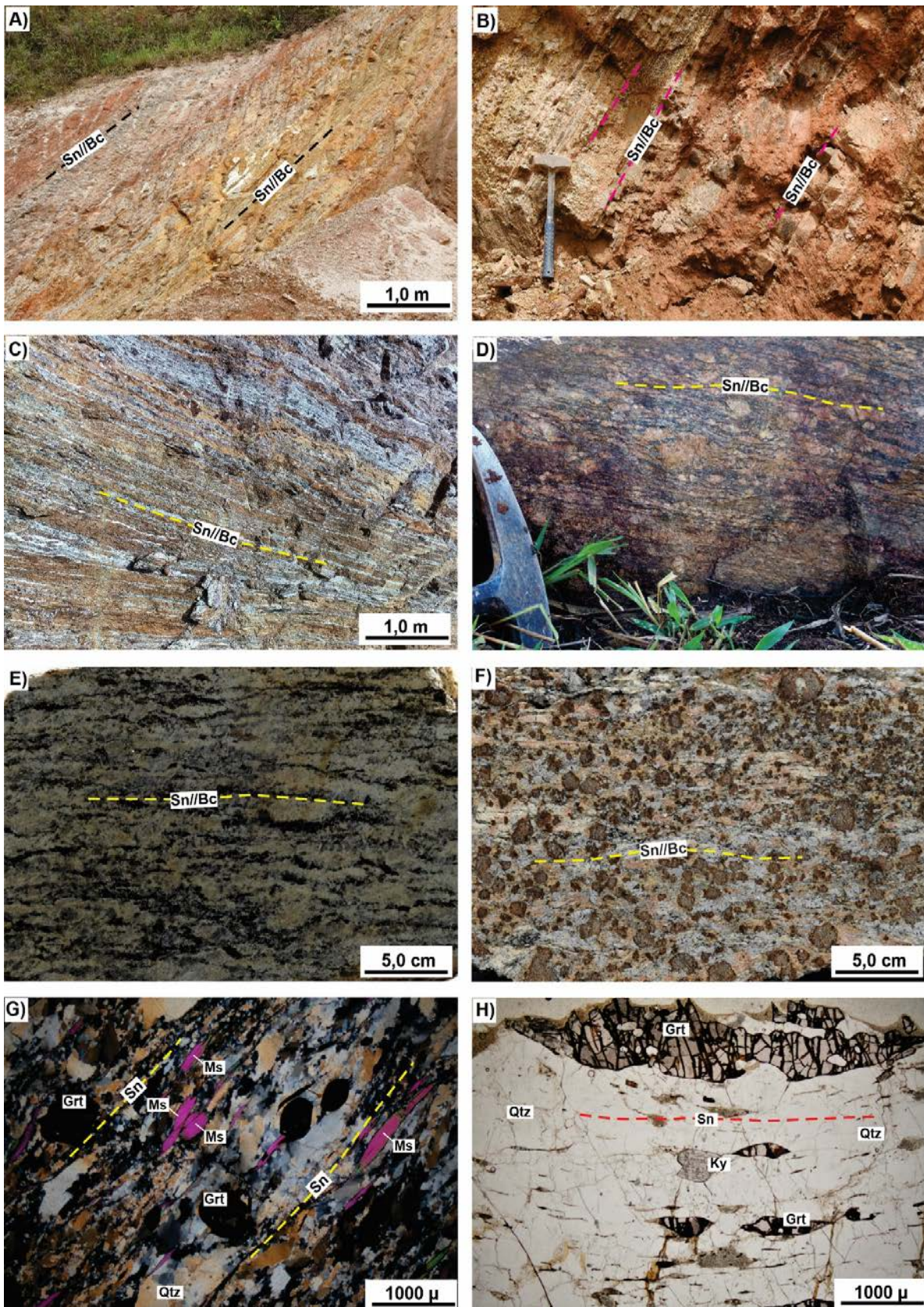
máficos e bandas ricas em minerais félsicos, bandas micáceas e quartzíticas em metassedimentamentos, bandas de rochas metamáficas intercaladas em ortognaisses e metassedimentos; pela alternância de bandas com texturas diferentes, marcadas por intercalações de bandas granoblásticas, lepidoblásticas e nematoblásticas; e pela alternância de bandas com granulação diferente (Figuras 3A, B, C).

A orientação do bandamento paralelo à foliação Sn é coincidente com o contato entre os diferentes litotipos. O bandamento apresenta direção paralela a subparalela aos lineamentos geomorfológicos da área de estudo, marcados principalmente pelas cristas das serras alinhadas que ocorrem na região, orientadas próximo ao *trend* E-W.

A foliação Sn é constituída por xistosidade bem definida (blastomilonítica), marcada por forte orientação de agregados lenticulares de minerais que frequentemente apresentam leve assimetria (sigmoides).

É representada pela orientação de *ribbons* de quartzo, pela orientação de minerais prismáticos (anfibólios, piroxênios, cianita), pela orientação de filossilicatos (biotita) e também por cristais de granada estirados (Figuras 3D, E, F). A foliação principal apresenta direção preferencialmente WNW-ESE, com mergulhos moderados a altos para SW.

O padrão anastomosado da foliação Sn apresenta domínios lenticulares marcantes em alguns tipos litológicos, representados por arranjos de foliação tipo S-C com mergulhos para SW, geralmente assimétricos. As duas orientações são melhores observadas em escala microscópica, frequentemente caracterizadas por cristais de muscovita *fish* (Figura 3G) e cristais de cianita e de granada com formas lenticulares a sigmoidais (Figura 3H).



**Figura 3** - Aspectos macroscópicos e microscópicos das rochas que ocorrem entre as zonas de cisalhamento Varginha e Campos Gerais, com destaque para as feições estruturais. (A, B, C, D): Bandamento composicional (Bc) paralelo à foliação principal (Sn); (E, F): Foliação Sn marcada por xistosidade com padrão anastomosado; (G): Foliação marcada por arranjo tipo S-C, representado por cristais de muscovita *fish* (Polarizadores cruzados); (H): Cristais de granada estirados paralelos a Sn (Polarizadores paralelos). Grt: granada, Ky: cianita, Ms: muscovita, Qtz: quartzo.

Contida na foliação principal, observa-se uma lineação principal (mineral e/ou de estiramento), com atitude WSW-ENE e baixo ângulo de mer-

gulho, marcada principalmente pela orientação de agregados lenticulares de minerais, *ribbons* de quartzo, cristais de cianita, cristais de granada

estirados e de filossilicatos. A orientação preferencial da lineação está próxima de E-W, com inclinação de baixo ângulo (variando predominantemente entre 5° e 10°) para W.

Os indicadores cinemáticos mais comuns observados são porfiroblastos/porfiroclastos de granada com caudas assimétricas, lentes de quartzo e feldspato sigmoidais, cristais de cianita e granada estirados ou com formas lenticulares, além de cristais de mica *fish*, que indicam transporte (movimento) de W para E e movimentação sinistral relativa.

### **Petrografia**

Os paragneisses são representados predominantemente por granada gnaisses, geralmente quartzosos, cianita-granada gnaisses, quartzosos ou não, com ou sem biotita, e biotita-granada gnaisses, quartzosos ou não, com ou sem cianita.

Ocorrem como faixas ou camadas, geralmente descontínuas, de espessura decimétrica, métrica a decamétrica. Mostram diferenças composicionais de um afloramento para o outro ou de banda para banda, originando subtipos petrográficos. Essas rochas apresentam coloração cinza claro a azulado a marrom amarelado, com pontuações de cor vermelho a rosado marcada pelos cristais de granada.

Mostram estrutura gnáissica nítida a mal definida, marcada pela alternância de leitos quartzo-feldspáticos, geralmente alongados e anastomosados. Os leitos quartzo-feldspáticos também ocorrem com intercalações subordinadas de bandas difusas e alongadas constituídas por cianita bem orientada e por leitos descontínuos constituídos por biotita. Exibem textura porfiroblástica/porfiroclástica, com matriz granoblástica inequigranular a blastomilonítica difusa.

São constituídos por leitos anastomosados descontínuos e lentes alongadas de feldspatos ou agregados de feldspatos com formas oclares, envolvidos por leitos alongados de cristais de quartzo, com granulação superior à dos feldspatos, que frequentemente formam *ribbons*, e que também se amoldam em torno dos cristais de granada (Figuras 4A, B, C, D). Nos termos mais ricos em cianita ocorrem leitos descontínuos de textura nematoblástica inequigranular orientada.

A mineralogia principal é constituída por plagioclásio (5-50%), quartzo (25-50%), feldspato potássico (1-25%), granada (5-20%), biotita (0-25%), cianita (0-15%) e muscovita (0-5%), e como minerais acessórios ocorrem ilmenita (<2%), rutilo (<2%), zircão/monazita (traços) e apatita (traços), além de traços de minerais de

alteração como sericita, clorita e carbonato. Localmente foram observados cristais de titanita (<1%) e traços de allanita.

O plagioclásio (oligoclásio/andesina) ocorre como cristais anédricos a subédricos tabulares, normalmente alongados, com dimensões que variam 0,3 a 5,0 mm.

Frequentemente os cristais formam agregados sigmoidais e lenticulares (Figuras 4B, C), às vezes constituindo zonas de sombra de pressão em granada (formando textura em mosaico). Mostram contatos predominantemente lobulados a retos e podem exibir geminação polissintética (Lei da Albita) nítida a difusa. Os cristais exibem sinais de recristalização e extinção ondulante em diferentes graus. Localmente é antipertítico, e pode apresentar variados graus de saussuritização, de albitização e corrosão por feldspato potássico.

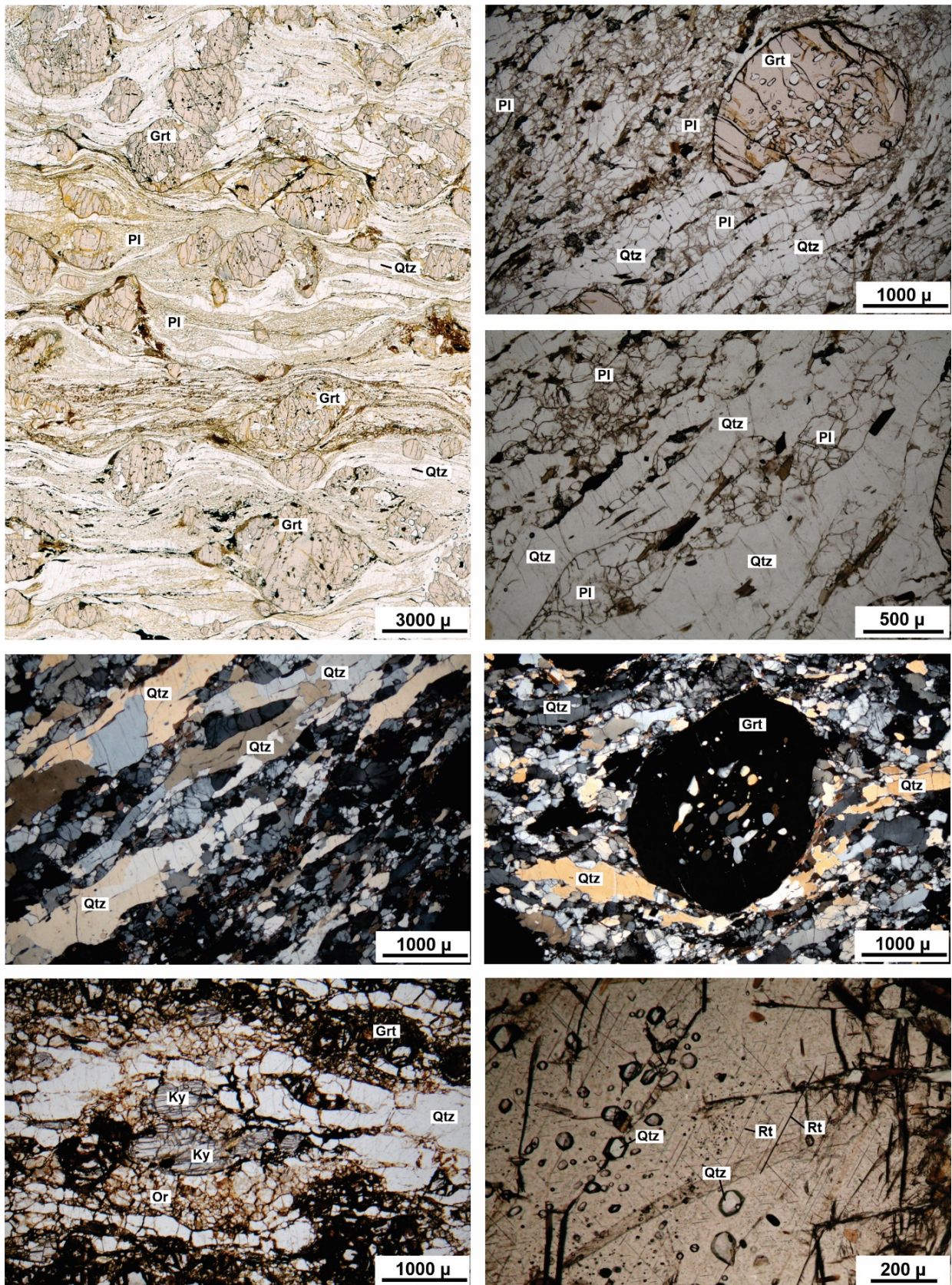
Os cristais de quartzo são anédricos, alongados, com contatos lobulados a localmente retos e imbricados, com dimensões que podem atingir até 9,0 mm de comprimento, constituindo *ribbons* (Figuras 4B, C, D, E).

Os cristais mostram evidências de forte migração de limites, recristalização, recuperação, formação de subgrãos e extinção ondulante em diferentes graus. Os *ribbons* podem amoldar-se na trama da rocha, contornando cristais de granada (Figura 4E).

O feldspato potássico (ortoclásio e microclínio) ocorre formando leitos difusos descontínuos alongados, muitas vezes com formas lenticulares (Figura 4F). Os cristais são subédricos tabulares a predominantemente anédricos, às vezes pertíticos, com dimensões variando entre 0,1 mm e 1,5 mm e contatos lobulados. Apresentam extinção ondulante moderada a forte e sinais de recristalização e recuperação. Muitos cristais mostram combinação das geminações em grade e carlsbad, indicando tratar-se de ortoclásio parcial a totalmente triclinizado.

Os cristais de granada são arredondados (anédricos a subédricos), geralmente poiquiloblásticos (com “inclusões” de quartzo, plagioclásio, rutilo, biotita, cianita, zircão e ilmenita), com dimensões que variam de 0,4 mm a 1,2 cm e limites lobulados a ameboides (Figura 4E). Muitos cristais de granada apresentam bordas alteradas principalmente para biotita e secundariamente para muscovita.

A biotita, quando presente, apresenta-se formando leitos descontínuos ou domínios difusos lepidoblásticos inequigranulares. Ocorre sob a



**Figura 4** - Aspectos microscópicos dos granada paragneisses. (A): Fotografia de seção delgada de granada paragneisse mostrando textura porfiroblástica/porfiroclástica e bandamento gnáissico difuso, descontínuo e anastomosado (blastomilonito); (B): Textura granoblástica inequigranular com domínios porfiroblásticos/porfiroclásticos difusos constituídos por granada (Polarizadores paralelos); (C): Leitões anastomosados, alongados e descontínuos de cristais de plagioclásio e de *ribbons* de quartzo (Polarizadores paralelos); (D): *Ribbons* de quartzo com forte orientação dimensional (Polarizadores cruzados); (E): *Ribbons* de quartzo amoldados em torno de cristal de granada poiquiloblástica (Polarizadores cruzados); (F): Agregados de cristais de cianita, ortoclásio e de granada com formas lenticulares e oclares (Polarizadores paralelos); (G): Destaque para acículas de rutilo organizadas preferencialmente em duas direções em cristal de granada (Polarizadores paralelos). Grt: granada, Ky: cianita; Or: ortoclásio; Pl: plagioclásio, Qtz: quartzo, Rt: rutilo.

forma de cristais tabulares a subtabulares, com contatos lobulados e dimensões que variam de inferiores a 0,1 a 4,0 mm de comprimento. Mostram pleocroísmo em tons de laranja, marrom escuro e marrom acastanhado. Localmente ocorre nas zonas de sombra de pressão de cristais de granada ou contornando cristais de granada e agregados de cristais de feldspato. Alguns cristais mostram inclusões de minerais radiativos (zircão e monazita? e allanita).

A cianita, quando presente, ocorre como cristais tabulares subédricos a anédricos, muitas vezes com formas lenticulares (Figura 4F), com dimensões variando de 0,1 a 3,0 mm e contatos lobulados. Ocorre formando domínios inequigranulares nematoblásticos fortemente orientados. Apresenta-se parcialmente substituída por muscovita/sericita ou ainda e mais raramente por biotita. Alguns cristais são poiquiloblásticos, com inclusões de granada, rutilo, ilmenita, biotita e quartzo. Frequentemente os cristais mostram-se arqueados, com extinção ondulante em diferentes graus e geminação lamelar simples.

A muscovita/sericita ocorre como palhetas incolores e irregulares, ou como pequenos cristais tabulares, com dimensões que não ultrapassam 1,5 mm. Ocorre substituindo a biotita, plagioclásio, cianita e mais raramente granada.

A ilmenita ocorre sob a forma de cristais subédricos prismáticos a anédricos, às vezes com aspecto vermiforme, com dimensões que podem alcançar até 1,5 mm de comprimento. Os cristais de rutilo são prismáticos a anédricos e mostram dimensões que variam de inferiores a 0,1 mm a 1,2 mm. Podem ocorrer nos leitos descontínuos félsicos orientados segundo a foliação principal, inclusos em cristais de granada e cianita, ou ainda, associado à biotita. Também ocorrem como cristais aciculares em granada com dimensões inframilimétricas, em arranjo quase ortogonal (arranjados segundo os planos dodecaédricos da granada), que sugerem resultar de exsolução (Figura 4G).

O zircão e a monazita(?) ocorrem predominantemente como pequenos cristais subprismáticos a arredondados, com dimensões variando de inferiores a 0,1 mm a 0,8 mm. A apatita ocorre como cristais prismáticos a geralmente arredondados, com dimensões que podem alcançar até 1,0 mm e ocorre dispersa pelos leitos granoblásticos.

O carbonato e a clorita ocorrem principalmente associados ao processo de saussuritização do plagioclásio. A clorita também pode ocorrer

como pequenos cristais subédricos tabulares a anédricos, com pleocroísmo em tons de verde claro e dimensões que não ultrapassam 1,0 mm, intercrescida com biotita e muscovita. Localmente ocorrem agregados de cristais granulares de titanita com dimensões inframilimétricas nas bordas de cristais de biotita, sugerindo originar-se desta e do plagioclásio. A allanita ocorre como cristais subédricos tabulares, com coloração em tons de amarelo a alaranjado e dimensões que podem alcançar até 1,0 mm.

Os granada-quartzo xistos/cianita-granada-quartzo xistos incluem termos feldspáticos ou não, com e/ou sem biotita. Ocorrem frequentemente como camadas a faixas tabulares descontínuas, de espessura decimétrica a métrica, intercalados principalmente em granada paragneisses quartzosos. São rochas de coloração bege esbranquiçada a cinza claro azulado quando frescos, que adquirem coloração rosada a amarronzada quando intemperizados.

Os granada-quartzo xistos exibem forte anisotropia definida por estrutura xistosa formando tectonitos “S” a “SL”. A xistosidade é marcada pela isorientação de cristais alongados de quartzo, e frequentemente de cianita.

Apresentam textura granoblástica inequigranular fortemente orientada, com domínios descontínuos inequigranulares nematoblásticos constituídos por cianita e mais raramente domínios lepidoblásticos constituídos por biotita e muscovita. Frequentemente a trama é interrompida por domínios difusos porfiroblásticos/porfiroclásticos e a textura se amolda em torno desses cristais (Figuras 5A, B, C, D).

A mineralogia essencial desse litotipo é constituída por: quartzo (35-60%), granada (10-40%), cianita (0-25%), feldspato potássico (0-15%), biotita (0-10%), plagioclásio (0-5%), muscovita/sericita (0-5%), ilmenita (até 3%), rutilo (até 3%), além de traços de grafita, apatita e zircão.

Os cristais de quartzo exibem formas anédricas, com contatos lobulados a mais localmente engrenados. As dimensões podem variar de 0,3 mm a 6,0 mm de comprimento. Frequentemente são alongados e formam *ribbons* (Figura 5E), que localmente alcançam dimensões de até 1,0 cm. Os cristais apresentam forte migração de limites, sinais de recristalização, recuperação, formação de subgrãos (localmente formando padrão *chessboard*) e extinção ondulante em diferentes graus.

A granada ocorre como cristais arredondados a anédricos, às vezes alongados, com dimensões



médias da ordem de 2,5 mm, podendo alcançar dimensões de até 8,5 mm. Os cristais podem ser límpidos ou poiquiloblásticos, com inclusões de quartzo, cianita, rutilo e mais raramente biotita. Alguns cristais exibem exsoluções de cristais aciculares de rutilo em arranjo quase ortogonal, ocupando os planos rombododecaédricos da granada.

A cianita ocorre como cristais euédricos, subédricos a anédricos, com hábitos tabular, subtabular a granular e com contatos retos a lobulados. As dimensões variam de 0,2 mm a 6,0 mm de comprimento. Frequentemente ocorre formando leitos nematoblásticos descontínuos e difusos, arranjados de modo que os cristais se amoldam em torno da granada (Figura 5F). Os cristais podem mostrar-se arqueados a dobrados, com extinção ondulante em graus variados (Figura 5G). Alguns cristais podem ser poiquiloblásticos, com inclusões de granada (cristais euédricos), ilmenita, rutilo e quartzo.

O feldspato potássico (ortoclásio e microclínio) ocorre predominantemente como agregados lenticulares, é alongado, muitas vezes arranjado de forma a constituir leitos descontínuos e difusos. Os cristais são subédricos tabulares a anédricos, com contatos lobulados e dimensões máximas de 2,0 mm. Mostram extinção ondulante moderada a forte.

Os cristais podem ou não mostrar textura pertítica e geminação em grade nítida a difusa combinada com geminação carlsbad, sugerindo ser resultado de triclinização do ortoclásio. Ocorrem raras cristas de plagioclásio (oligoclásio/andesina), com formas sigmoidais, contatos lobulados e dimensões inferiores a 0,4 mm. Quando presente, a geminação polissintética é nítida. Localmente mostram textura mirmequítica e antipertítica. O plagioclásio ocorre predominantemente concentrado em zonas de sombra de pressão de cristais de granada (Figura 5H).

A biotita ocorre sob a forma de cristais tabulares a anédricos, com pleocroísmo em tons de marrom acastanhado e dimensões entre 0,2 mm a 2,0 mm de comprimento. A biotita ocorre envolvendo cristais de granada, às vezes formando sombras de pressão em torno desses cristais. Também ocorre associada ao rutilo e minerais opacos. A muscovita e a sericita ocorrem como cristais tabulares a subtabulares com dimensões máximas de 0,5 mm ou como agregados de cristais fibrosos finos e substituem cianita, biotita, feldspatos e mais raramente cristais de granada.

Os minerais opacos incluem ilmenita e grafita. Os cristais são tabulares, subtabulares a arredondados, com dimensões médias da ordem de 0,35 mm. Podem estar associados a granada, biotita, rutilo e cianita. A grafita é observada principalmente associada aos domínios ricos em biotita e muscovita. O rutilo ocorre sob formas subédricas prismáticas a predominantemente anédricas, com dimensões que variam de 0,3 mm a 2,5 mm. Ocorrem inclusos em cristais de cianita e granada e geralmente estão associados aos agregados de cristais de cianita.

Os cristais de zircão são arredondados, com dimensões da ordem de 0,15 mm. Ocorrem dispersos pela amostra ou inclusos em granada. A apatita ocorre sob a forma de raros cristais menores que 0,1 mm com formas euédricas a subédricas prismáticas.

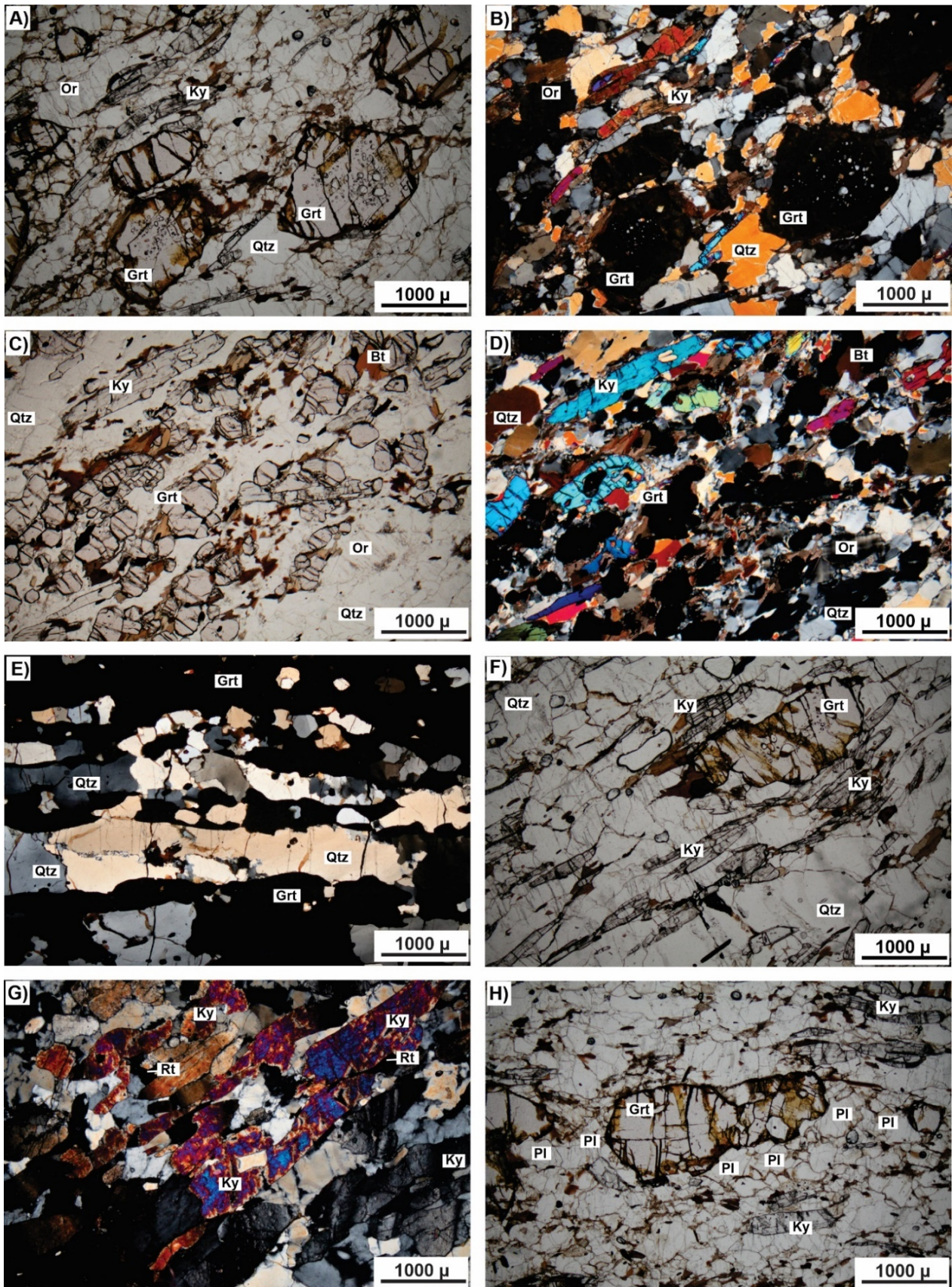
Os granada quartzitos são rochas de coloração bege esbranquiçada, com tons azulados (quando ricos em cianita), que adquirem coloração rosada a avermelhada quando intemperizados. As exposições mais comuns desses litotipos ocorrem sob a forma de paredões com espessura métrica a decamétrica e como blocos tabulares com diâmetro decimétrico a métrico. Essas rochas ocorrem associadas principalmente aos granada-quartzo xistos e granada paragneisses quartzosos exibindo contatos gradacionais a nítidos.

Apresentam estrutura fortemente anisotrópica, são foliados, com xistosidade marcada pela isorientação de cristais achatados, alongados e estirados de quartzo, cristais alongados de cianita e menos frequentemente por cristais de filossilicatos. Possuem textura granoblástica inequigranular milonítica a blastomilonítica.

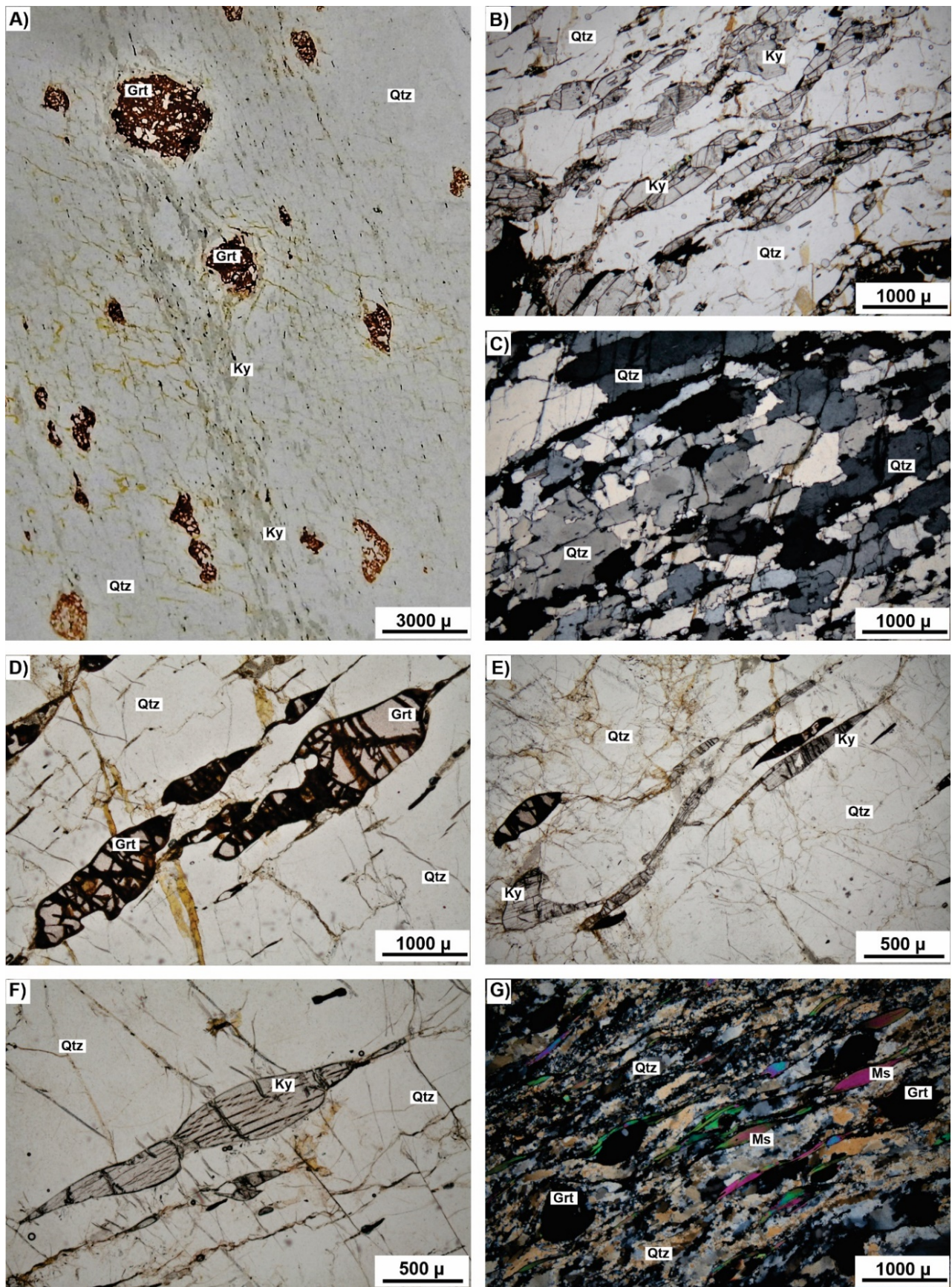
A trama pode exibir leitos descontínuos ou domínios porfiroblásticos/porfiroclásticos orientados, às vezes alongados, constituídos por granada, e domínios nematoblásticos descontínuos a lenticulares orientados constituídos por cianita (Figuras 6A, B).

A mineralogia principal é constituída por quartzo (75-90%), granada (5-10%), cianita (0-15%) e feldspato potássico (0-5%), além de muscovita (0-5%), biotita (0-3%), rutilo (traços-3%), minerais opacos (<1%) e traços de zircão e apatita.

O quartzo ocorre sob a forma de cristais anédricos, geralmente alongados e achatados, com contatos predominantemente lobulados e localmente engrenados. As dimensões dos cristais variam de 0,5 mm podendo formar *ribbons* de até 8,0 mm de comprimento (Figura 6C). Os cristais



**Figura 5** - Fotomicrografias de granada-quartzo xistos. (A, B, C, D): Textura granoblástica inequigranular fortemente orientada, com domínios descontínuos nematoblásticos constituídos por cianita e porfiroblásticos/porfiroclásticos compostos por granada (Polarizadores paralelos em A e C, polarizadores cruzados em B e D); (E): *Ribbons* de quartzo com forte orientação dimensional (Polarizadores cruzados); (F): Cristais lenticulares de cianita fracamente amoldados em torno de cristal de granada (Polarizadores paralelos); (G): Leitões descontínuos nematoblásticos constituídos por cianita com destaque para cristais arqueados e com extinção ondulante (Polarizadores cruzados); (H): Cristais de plagioclásio formando sombras de pressão em cristal de granada (Polarizadores paralelos). Bt: biotita, Grt: granada, Ky: cianita, Or: ortoclásio, Pl: plagioclásio, Rt: rutilo, Qtz: quartzo.



**Figura 6** - Aspectos microscópicos dos granada quartzitos. (A): Fotografia de seção delgada de granada-cianita quartzito; (B): Textura nematoblástica marcada pela orientação de cristais alongados a lenticulares de cianita e *ribbons* de quartzo (Polarizadores paralelos); (C): *Ribbons* de quartzo com nítida orientação dimensional (Polarizadores cruzados); (D): Cristais lenticulares de granada fortemente orientados (Polarizadores paralelos); (E): Cristais lenticulares de cianita e granada orientados (Polarizadores paralelos); (F): Cristais lenticulares de cianita orientados (Polarizadores paralelos); (G): Cristais de muscovita com formas lenticulares a sigmoidais orientados, formando muscovita *fish*. Grt: granada, Ky: cianita, Ms: muscovita, Qtz: quartzo.

mostram sinais de recristalização, recuperação, forte migração de limites, formação de subgrãos, além de extinção ondulante em diferentes graus.

A granada ocorre como cristais anédricos, normalmente poiquiloblásticos (com inclusões de quartzo, cianita e rutilo) e alongados, muitas vezes com formas lenticulares (amendoadas) (Figuras 6D, E), com dimensões que variam entre 0,1 mm e 5,0 mm. Os limites dos cristais são irregulares, geralmente lobulados a ameboides. Frequentemente os cristais ocorrem fraturados, com graus variáveis de alteração para óxido/hidróxido de ferro, podendo constituir pseudomorfos.

Os cristais de cianita ocorrem sob formas subédricas tabulares a anédricas, muitas vezes com formas lenticulares a sigmoidais (Figuras 6E, F), formando leitos descontínuos nematoblásticos. As dimensões dos cristais variam de inferiores a 0,5 mm a 3,0 mm de comprimento. Frequentemente ocorrem amoldando-se em torno dos cristais de granada e mostram extinção ondulante em diferentes graus. Alguns cristais exibem geminação lamelar simples, ou ainda inclusões de quartzo, rutilo e de ilmenita.

O feldspato potássico (ortoclásio), quando presente, ocorre constituindo domínios lentiformes difusos orientados. Os cristais são anédricos, com dimensões máximas de 1,5 mm e geralmente

formam agregados lenticulares. Mostram extinção ondulante leve a moderada.

A muscovita pode ocorrer como cristais tabulares com dimensões médias da ordem de 1,0 mm; como agregados fibrosos finos com tamanhos médios da ordem de 0,5 mm crescendo sobre feldspato, cianita, biotita e granada; ou ainda com formas sigmoidais constituindo domínios descontínuos orientados formando foliação “Ss” e “Sc” (mica *fish*) (Figura 6G). A biotita ocorre como cristais de dimensões médias de 1,0 mm, com coloração em tons de marrom avermelhado, resultantes de alteração da granada.

Os cristais de rutilo ocorrem, são prismáticos a anédricos, às vezes com formas lenticulares, orientados, com dimensões que podem alcançar até 1,0 mm de comprimento. Também ocorrem como inclusões em cristais de cianita e granada. A ilmenita ocorre como cristais anédricos a lenticulares, principalmente associados aos cristais de granada. Pode ocorrer também grafita associada à biotita e ao rutilo. Minerais traços incluem cristais submilimétricos arredondados de zircão, que ocorrem dispersos. A apatita ocorre com formas subprismáticas a arredondadas, com dimensões inframilimétricas, dispersa. A sericita ocorre como agregados fibrosos resultantes da alteração do feldspato, cianita e granada.

## QUÍMICA MINERAL

Foram selecionadas três amostras de rochas metassedimentares para análises de química mineral por EPMA.

Os litotipos analisados incluem biotita-granada paragnaisse quartzoso com cianita, muscovita e rutilo (amostra TGL-39-E), biotita-granada paragnaisse com rutilo (amostra TGL-57-A) e biotita-granada paragnaisse com rutilo e muscovita (amostra TGL-74). As análises químicas representativas são apresentadas nas tabelas do Apêndice.

Na amostra TGL-39-E, a composição da granada é rica em almandina (Alm<sub>60-71</sub>), com proporções intermediárias de piropo (Prp<sub>19-28</sub>) e concentrações menores de grossulária (Grs<sub>6-16</sub>), espessartita (Sps<sub>1-3</sub>) e andradita (Adr<sub>0-3</sub>). A composição da granada da amostra TGL-57-A é predominada pelas moléculas de almandina (Alm<sub>44-47</sub>) e piropo (Prp<sub>42-44</sub>), seguida por menores proporções de grossulária (Grs<sub>6-11</sub>) e proporções inferiores de andradita (Adr<sub>1-4</sub>) e espessartita (Sps<sub>0-1</sub>).

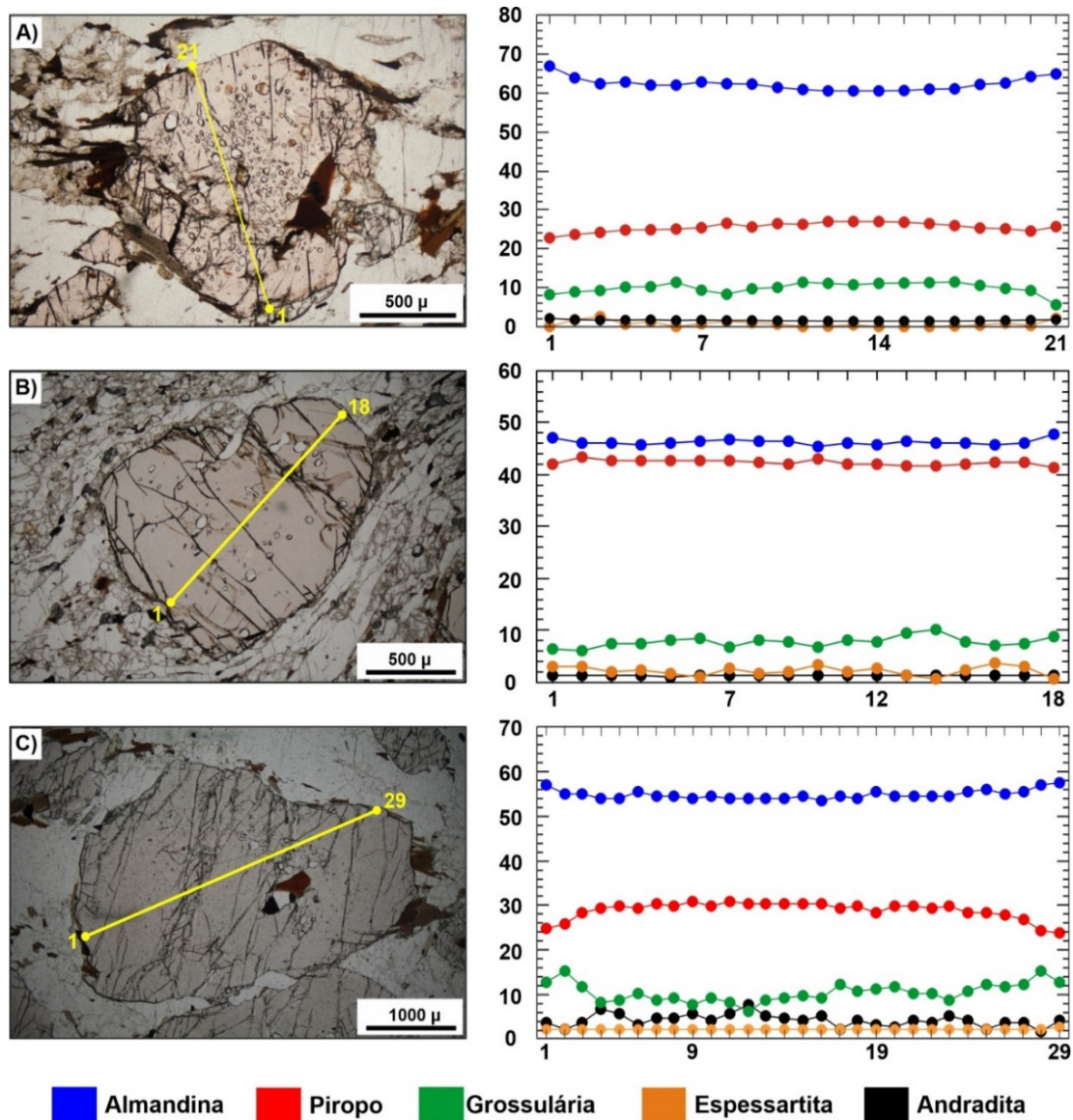
A granada da amostra TGL-74 apresenta composição rica em almandina (Alm<sub>52-58</sub>), seguida por

proporções intermediárias de piropo (Prp<sub>24-31</sub>) e menores proporções de grossulária (Grs<sub>6-18</sub>), andradita (Adr<sub>0-9</sub>) e espessartita (Sps<sub>0-2</sub>).

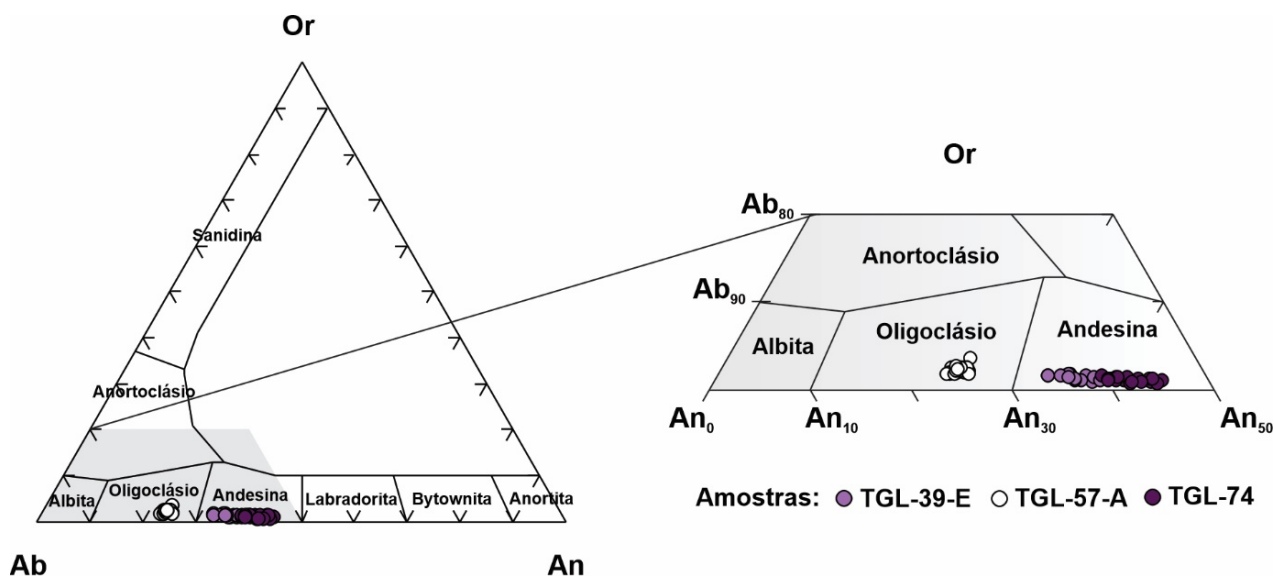
Os perfis composicionais analisados são homogêneos (retos) nas porções centrais dos cristais, e frequentemente exibem fraco zoneamento químico em direção às bordas, definido por aumento da proporção de almandina e diminuição da proporção de piropo. Os membros moleculares grossulária, andradita e espessartita mostram perfis composicionais geralmente retos, podendo apresentar fraco enriquecimento ou empobrecimento em direção às bordas (Figuras 7A, B, C).

Os cristais de plagioclásio analisados nas amostras TGL-39-E e TGL-74 são classificados como andesina (An<sub>33-48</sub>), e na amostra TGL-57-A, são classificados como oligoclásio (An<sub>23-25</sub>). O teor de Or é baixo e varia entre 1 e 4% (Figura 8).

O feldspato potássico (ortoclásio/microclínio) exibe composição variando em aproximadamente 6% na concentração de ortoclásio (Or<sub>87-93</sub>), com teor da molécula de albita entre 7 e 12%.



**Figura 7** - Perfis composicionais representativos de cristais de granada das amostras de rochas metassedimentares. (A): Amostra de biotita-granada paragneisse quartzoso com cianita, muscovita e rutilo (amostra TGL-39-E); (B): Amostra de biotita-granada paragneisse com rutilo (amostra TGL-57-A); (C): Amostra de biotita-granada paragneisse com rutilo e muscovita (amostra TGL-74).



**Figura 8** - Diagrama ternário de classificação de feldspatos.

Os cristais de biotita analisados mostram variação composicional, classificados como siderofilita-eastonita (amostra TGL-39-E), eastonita-flogopita (amostra TGL-57-A) e eastonita (amostra TGL-74) no diagrama  $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$  vs.  $Al^{IV}$  (Figura 9). Os teores de  $X_{Mg}$  nos cristais analisados variam entre 0,44 e 0,72 a.p.u.f. As concentrações de Ti são relativamente altas e variam de

0,38 a 0,64 a.p.u.f., assim como os conteúdos de  $Al^{IV}$ , entre 2,46 e 2,69 a.p.u.f., e de  $Al^{VI}$ , variando de 0,21 a 0,81 a.p.u.f..

Os cristais de muscovita analisados apresentam razões  $Al^{IV}/Al^{VI}$  variando de 0,47 a 0,55 e  $Al^{VI}/Al^{VI}+Fe^{3+}$  entre 0,92 e 0,97. Os teores de Si variam de 6,03 a 6,30 a.p.u.f., de Mg entre 0,09 e 0,28 a.p.u.f., e as concentrações de Ti entre 0,02 e 0,10 a.p.u.f.

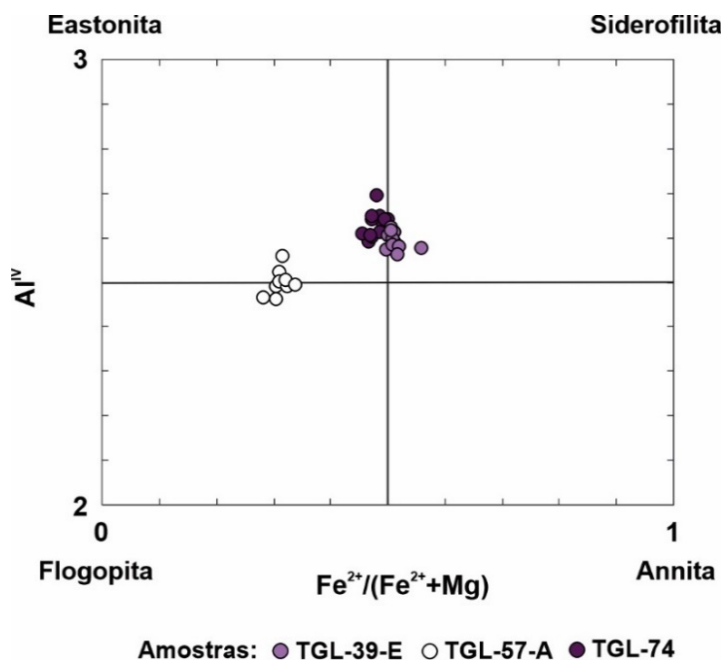


Figura 9 - Diagrama de classificação de biotita.

A análise química da cianita foi realizada em dez cristais da amostra de biotita-granada paragneisse quartzoso com cianita, muscovita e rutilo (amostra TGL-39-E).

A composição da cianita apresenta teores de

Si variando de 4,00 a 4,03 a.p.u.f., de Al entre 7,90 e 7,95 a.p.u.f. e conteúdo de  $Fe^{3+}$  entre 0,05 e 0,08 a.p.u.f. Apresenta teores de  $TiO_2$  e  $Cr_2O_3$  muito baixos, próximos ao limite mínimo de detecção.

## DISCUSSÕES

As relações texturais e microestruturais indicam que o auge metamórfico ocorreu pré a cedo desenvolvimento da foliação principal (Sn). A foliação Sn observada na área está associada à principal fase de deformação (Dn), de caráter dúctil, representada pela recristalização, deformação com forte blastomilonitização e orientação dos minerais e agregados minerais.

As texturas, estruturas e associações minerais observadas nos metassedimentos do Grupo Araxá são indicativas de auge metamórfico em condições de fácies granulito a granulito de alta pressão, representadas pelas paragêneses: granada + quartzo + cianita + rutilo; granada + quartzo + cianita + ortoclásio + rutilo; granada + quartzo + cianita + oligoclásio/andesina + rutilo; granada + quartzo + cianita + oligoclásio/andesina + ortoclásio + rutilo; granada + quartzo + oligoclásio/andesina + rutilo; granada + quartzo + rutilo e

indicam condições de temperaturas mínimas da ordem de 800°C e pressões dentro do campo da estabilidade da cianita.

As paragêneses do auge metamórfico foram formadas por reações de desidratação com a quebra dos filossilicatos (muscovita e biotita), atestando condições de fácies granulito (Yardley, 1989; O'Brien & Rötzler, 2003; Palin & Dick, 2021; Bucher, 2023; entre outros). Essas condições estão em congruência com a ausência de muscovita e biotita nas paragêneses relacionadas ao auge metamórfico nos metassedimentos (Yardley, 1989; O'Brien & Rötzler, 2003; entre outros).

Em todas as amostras observam-se reações retrometamórficas associadas ao reequilíbrio, que ocorreram com grau variado, indicando que o processo foi penetrativo, embora com intensidade variada, provavelmente devido à partição

da deformação na catalisação dessas reações. As reações retrógradas indicam que o reequilíbrio metamórfico das associações minerais ocorreu em fácies granulito a anfíbolito superior, corroborado pelas reações metamórficas, texturas e microestruturas observadas nas amostras.

O ortoclásio é comum nos metassedimentos, exibe extinção ondulante, recristalização e triclinização em grau variável, sendo geralmente peritítico. O microclínio resulta das transformações retrógradas do ortoclásio. O plagioclásio apresenta extinção ondulante e feições de recristalização (poligonização) e recuperação, e muitas vezes exibe textura antiperitítica. Frequentemente os cristais de feldspatos ocorrem lenticularizados e alongados na trama da rocha, mostrando que foram recristalizados e que ocorreu migração dos limites e dissolução durante a deformação. As feições texturais observadas nos feldspatos são comuns em condições de altas temperaturas, em fácies anfíbolito superior a granulito ( $> 700^{\circ}\text{C}$ ) (Olsen & Kohlstedt, 1985; Gower & Simpson, 1992; Pryer, 1993; Altenberger & Wilhelm, 2000). A presença de feldspato alcalino (ortoclásio) intersticial corroendo plagioclásio nos paragneisses, disposto paralelamente aos planos de foliação principal, sugerem processos de anatexia parcial. O processo de anatexia parcial observado aparenta ter ocorrido acima da isógrada do ortoclásio, em fácies granulito.

O quartzo exibe feições de recristalização e recuperação, com forte migração de limites, formas alongadas, frequentemente formando *ribbons* contemporaneamente a implantação da foliação principal. Os limites dos cristais são predominantemente lobulados, com variados graus de extinção ondulante, às vezes com formação de subgrãos tipo *chessboard* e formação de quartzo *platten*, indicando condições de temperaturas mínimas da ordem de  $700^{\circ}\text{C}$  (Gower & Simpson, 1992; Hirth & Tullis, 1992; Kruhl, 1996; Stipp et al., 2002; entre outros).

Frequentemente os cristais de granada são anédricos ou arredondados, com formas alongadas e, em algumas amostras, ocorrem fortemente achatados e estirados. Cristais lentiformes, estirados e achatados de granada são interpretados como evidência de deformação cristaloplástica em condições de altas temperaturas ( $\sim 700$  a  $900^{\circ}\text{C}$ ) (Ji & Martignole, 1996; Kleinschrodt & McGrew, 2000; Prior et al., 2000). Em condições de altas temperaturas, a diferença da reologia entre cristais de granada e da matriz quartzosa ou quartzo-

feldspática diminui, e todos os minerais se deformam juntos. Estudos realizados em granadas deformadas em condições de fácies granulito sugeriram que essas estruturas são formadas devido a deslocamentos por deslizamentos acomodados por recuperação (Ji & Martignole, 1996). Den Brok & Kruhl (1996) sugeriram que essas estruturas também poderiam ter se formado por fluência difusional de limite de grão.

As características químicas dos minerais analisados também indicam condições de alto grau metamórfico. Embora a composição química da granada seja controlada pela composição química da rocha total, os cristais de granada exibem características gerais semelhantes em todos os perfis composicionais analisados. A ausência de zoneamento composicional químico nítido na granada tem sido atribuída à homogeneização por difusão intragranular em condições metamórficas de alto grau ( $T > 750^{\circ}\text{C}$ ), o que reduz o zoneamento químico (Woodsworth, 1977; Yardley, 1977; Spear, 1993; Carlson & Schwarze, 1997; entre outros). Essas características químicas implicam em perfis composicionais mais retos e homogêneos nas porções centrais dos cristais, com pequenas modificações químicas em direção às bordas dos cristais.

A biotita foi gerada por reações de retrometamorfismo, entretanto sua composição química é condizente com condições de alto grau metamórfico. Os cristais de biotita analisados apresentam coloração marrom avermelhada, além de altos teores de  $X_{\text{Mg}}$ ,  $\text{Al}^{\text{IV}}$  e Ti, que são características químicas de alto grau metamórfico (Guidotti, 1984). Com base na observação petrográfica, a coloração marrom avermelhada intensa da biotita tem sido atribuída à maior quantidade de solução sólida de Ti em condições de temperaturas mais elevadas (fácies anfíbolito superior a granulito). O aumento da concentração de Ti na biotita é considerado principalmente como função do aumento da temperatura em rochas metamórficas (Guidotti, 1984; Henry & Guidotti, 2002; Henry et al., 2005, entre outros).

A cianita exibe evidências de deformação dúctil, mostrando extinção ondulante forte, arqueamento (geralmente amoldando-se em torno de cristais de granada), muitas vezes com formas lenticulares, e com forte orientação dimensional.

As feições microestruturais da cianita foram originadas em função da forte deformação associada à implantação da foliação principal em condições de alto grau metamórfico. Minerais

com baixa simetria, como a cianita, são menos deformados devido à presença de um único sistema de deslizamento dominante. A deformação de cristais de cianita formando lentes é característica de fácies granulito (Ten Grotenhuis et al., 2003; Passchier & Coelho, 2006).

Texturas de exsolução de acículas de rutilo em cristais de granada foram descritas em algumas rochas que experimentaram condições metamórficas de alta a ultra alta pressão, além de peridotitos e piroxenitos do manto (Zhang & Liou, 1999; Zhang et al., 2003; Hwang et al., 2007; Ague & Eckert Jr., 2012). A presença de acículas de rutilo em cristais de granada arranjadas nos planos rombododecaédricos do mineral, observadas em muitas amostras na área de estudo, sugere reações de exsolução durante os estágios de reequilíbrio a partir de condições de pressões mais altas (Zhang et al., 2003; Ague & Eckert Jr., 2012).

## CONCLUSÕES

Entre as ZCV e ZCCG, o Grupo Araxá é constituído por rochas metassedimentares pelíticas, psamo-pelíticas e grauvaqueanas, representadas principalmente por granada paragnaisse com ou sem cianita, quartzosos ou não; granada-quartzo xistos, geralmente contendo cianita, feldspáticos ou não; e por granada quartzitos com ou sem cianita, às vezes feldspáticos.

Nessas rochas é comum a ocorrência de granada, cianita, ortoclásio, oligoclásio/andesina e rutilo.

Na área de estudo, a foliação principal (Sn) é paralela ao bandamento composicional, representada por xistosidade, comumente marcada por feições blastomiloníticas a anastomosadas e forte deformação dúctil. A foliação principal apresenta direção EW a WNW, com ângulo de mergulho médio a alto para SW, desenvolvida após o auge metamórfico, associada a progressão de deformação não coaxial.

O estudo petrográfico mostra que as paragéneses que marcam o auge metamórfico são pré a cedo desenvolvimento da foliação principal e indicam que o metamorfismo da área atingiu fácies granulito de alta pressão, com temperaturas mínimas da ordem de 800°C, no campo de estabilidade da cianita. Essas para-

Os aspectos mineralógicos e texturais, associados aos resultados de química mineral, sugerem auge metamórfico em condições de fácies granulito de alta pressão para as rochas metassedimentares que ocorrem em toda a sequência entre as ZCV e ZCCG, com condições de temperaturas acima de 800°C e pressões no campo de estabilidade da cianita.

As feições estruturais e texturais descritas e as composições químicas dos minerais são compatíveis com as condições termobarométricas calculadas por Del Lama (1993), Del Lama et al. (1994) e Leme (2019) na porção meridional do Grupo Araxá, que indicaram temperaturas da ordem de 830-900°C e pressões de 12,5-15 kbar no auge metamórfico (fácies granulito de alta pressão) e reequilíbrio das condições metamórficas em torno de 700-750°C e 11,8-12,1 kbar (limite entre fácies anfibolito alto a granulito de alta pressão).

gêneses foram progressivamente superpostas por associações minerais do reequilíbrio metamórfico, que catalisou as reações regressivas em condições de fácies granulito a anfibolito superior durante o desenvolvimento da foliação principal. Essa foliação (Sn) é marcada por intensa deformação dúctil, com lenticularização dos minerais e forte achatamento. As feições texturais mostram que esse evento de reequilíbrio metamórfico é penetrativo. Os dados apresentados neste trabalho indicam que, nos estágios iniciais do desenvolvimento da foliação principal, as condições metamórficas ainda estavam em condições de fácies granulito (acima da isógrada do ortoclásio) durante a implantação das zonas de cisalhamento.

A trajetória metamórfica *P-T* apresenta sentido horário para os metassedimentos que ocorrem nessa porção do Grupo Araxá, com reequilíbrio das associações minerais dentro do campo de estabilidade da cianita. Os dados apresentados são compatíveis com regime *P-T* típico de zonas de espessamento crustal (colisão continental entre os paleocontinentes Paranapanema e São Francisco) e indicam que as rochas metassedimentares representam um cinturão granulítico de alta pressão.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.



## REFERÊNCIAS

- AGUE, J.J. & ECKERT JR, J. O. Precipitation of rutile and ilmenite needles in garnet: Implications for extreme metamorphic conditions in the Acadian Orogen, USA. **American Mineralogist**, v. 97, n. 5-6, p. 840-855, 2012.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; DAVINO, A.; HARALYI, N.L.E. Informações geofísicas sobre o oeste mineiro e seu significado geofísico. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 52, n. 1, p. 49-60, 1980.
- ALTENBERGER, U. & WILHELM, S. Ductile deformation of K-feldspar in dry eclogite facies shear zones in the Bergen Arcs, Norway. **Tectonophysics**, v. 320, n. 2, p. 107-121, 2000.
- BARBOSA, O. Guia de excursão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 9, 1955, Araxá. **Noticiário...** Araxá: Sociedade Brasileira de Geologia, 1955, n. 3, p. 1-7.
- BRAGA, I.F. & EBERT, H.D. Análise estrutural e deformacional em zonas de cisalhamento de baixo mergulho e transcorrentes associadas a Zona de Sutura Alterosa, na região de Cristina e Itajubá-MG. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 3, p. 413-425, 2006.
- BUCHER, K. **Petrogenesis of metamorphic rocks**. Switzerland: Springer Nature, 2023. 467p.
- CARLSON, W. & SCHWARZE, E. Petrological significance of prograde homogenization of growth zoning in garnet: an example from the Llano Uplift. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 15, n. 5, p. 631-644, 1997.
- DEL LAMA, E.A. **Petrologia das rochas metamórficas de alto grau do Complexo Campos Gerais e correlação com as do Complexo Varginha Guaxupé: Estudos Termobarométricos**. Rio Claro, 1993. 132 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- 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.
- DEN BROK, B. & KRUHL, J.H. Ductility of garnet as an indicator of extremely high temperature deformation: discussion. **Journal of Structural Geology**, v. 18, n. 11, p. 1369-1373, 1996.
- DRAKE JUNIOR, A.A. The Serra de Caldas window. In: **Tectonic studies in the Brazilian Shield**. Geological Survey, Professional Paper, 1999-A, U.S.G.S. Washington. p. A1-A11, 1980.
- EBERT, H.D. & HASUI, Y. Transpressional tectonics and partitioning during oblique collision between three plates in Pré-cambrian of southeast Brazil. In: HOLDSWORTH, R.E.; STRACHAN, R.A.; DEWEY, J.F. (Eds). **Continental transpressional and transtensional tectonics**. London: Geological Society, p. 231-252, 1998.
- GOWER, R.J.W. & SIMPSON, C. Phase boundary mobility in naturally deformed, high-grade quartz feldspathic rocks: evidence for diffusional creep. **Journal of Structural Geology**, v. 14, n. 3, p. 301-313, 1992.
- GUIDOTTI, C.V. Micas in metamorphic rocks. In: BAILEY, S.W. (Ed.). **Micas**. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, Mineralogical Society of America, Washington, D.C., v. 13, n. 1, p. 357-467, 1984.
- HARALYI, N.L.E.; HASUI, Y.; MIOTO, J.A.; HAMZA, V.M.; RODRIGUES, C.R.V. Ensaio sobre a estruturação crustal do Estado de Minas Gerais com base na informação geofísica e geológica. Contribuições à Geologia e à Petrologia. **Boletim Especial...** Sociedade Brasileira de Geologia-MG, p. 71-93, 1985.
- HARALYI, N.L.E. & HASUI, Y. The gravimetric information and the Archean-Proterozoic structural framework of Eastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 12, n. 1-3, p. 160-166, 1982.
- HENRY, D. J. & GUIDOTTI, C.V. Titanium in biotite from metapelitic rocks: Temperature effects, crystal-chemical controls, and petrologic applications. **American Mineralogist**, v. 87, n. 4, p. 375-382, 2002.
- HENRY, D.J.; GUIDOTTI, C.V.; THOMSON, J.A. The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: Implications for geothermometry and Ti-substitution mechanisms. **American Mineralogist**, v. 90, n. 2-3, p. 316-328, 2005.
- HIRTH, G. & TULLIS, J.A.N. Dislocation creep regimes in quartz aggregates. **Journal of Structural Geology**, v. 14, n. 2, p. 145-159, 1992.
- HWANG, S.L.; YUI, T.F.; CHU, H.T.; SHEN, P.; SCHERTL, H.P.; ZHANG, R.Y.; LIOU, J.G. On the origin of oriented rutile needles in garnet from UHP eclogites. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 25, n. 3, p. 349-362, 2007.
- JI, S. & MARTIGNOLE, J. Ductility of garnet as an indicator of extremely high temperature deformation: reply. **Journal of Structural Geology**, v. 18, n. 11, p. 1375-1379, 1996.
- KLEINSCHRODT, R. & MCGREW, A. Garnet plasticity in the lower continental crust: implications for deformation mechanisms based on microstructures and SEM-electron channeling pattern analysis. **Journal of Structural Geology**, v. 22, n. 6, p. 795-809, 2000.
- KRUHL, J.H. Prism-and basal-plane parallel subgrain boundaries in quartz: A microstructural geothermobarometer. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 14, n. 5, p. 581-589, 1996.
- LEME, T.G. **Petrografia e geoquímica da ocorrência de (clinopiroxênio)-hastingsita-biotita-granada ortognaisse na região de Santa Cruz Do Prata – MG**. Rio Claro, 2016. 87 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- LEME, T.G. **Geotermobarometria das rochas do Grupo Araxá e do Complexo Guaxupé na região de Guaxupé-Nova Resende, MG**. Rio Claro, 2019. 175 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- LEME, T.G. **A Paleozona de Sutura de Alterosa entre as zonas de cisalhamento Varginha e Campos Gerais (SW do estado de Minas Gerais): Metamorfismo de fácies granulito de alta pressão**. Rio Claro, 2023. 360p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista."
- LEME, T.G. **O Grupo Araxá entre as zonas de cisalhamento Varginha e Campos Gerais, região de Guaxupé – Nova Resende, MG**. Rio Claro, 2023. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- LEME, T.G.; NAVARRO, G.R.B.; ZANARDO, A.; LIMA, F.G.; MONTIBELLER, C.C. Caracterização e evolução de hedenberguita-hastingsita-biotita-granada ortognaisse na região da Zona de Paleossutura de Alterosa, porção sul do Orógeno Brasília Meridional. São Paulo, Unesp. **Geociências**, v. 39, n. 3, p. 585-608, 2020a.
- LEME, T.G.; NAVARRO, G.R.B.; ZANARDO, A. Ultra-high temperature metamorphism in the Guaxupé Complex: A lower crust segment. **Brazilian Journal of Geology**, v. 50, n. 4, e20200005, 2020b.
- LEME, T.G.; NAVARRO, G.R.B.; ZANARDO, A.; MONTIBELLER, C.C. Petrografia, química mineral e geotermobarometria de retroeclogito no Grupo Araxá na região da Zona de Cisalhamento Varginha, sudoeste de Minas Gerais. São Paulo, Unesp. **Geociências**, v. 38, n. 2, p. 279-313, 2019.
- MORALES, N. **Evolução tectônica do Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio na sua porção ocidental**. Rio Claro, 1993. 2 v. Tese (Doutorado)- Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- NAVARRO, G.R.B. & ZANARDO, A. Petrografia e geoquímica das rochas metaultramáficas da região de Mairipotaba, Cromínia e Pontalina, Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 4, p. 483-492, 2005.

- NAVARRO, G.R.B.; CONCEIÇÃO, F.T.; ZANARDO, A.; ANGELI, N. U-Pb age of the Mairipotaba and Cromínia-Prof. Jamil Safady orthogneisses, South of Goiás State. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 7, 2010. **Resumos...** Brasília, 2010, v. 1, 2010, p. 1-4.
- 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. 544-559, 2009.
- NAVARRO, G.R.B.; ZANARDO, A.; CONCEIÇÃO, F.T.; MORAES, R.; SIMÕES, L.S.A. Química mineral e estimativas de pressão e temperatura em rochas metassedimentares do Grupo Araxá na região de Morrinhos, sul do estado de Goiás. *Geologia USP, Série Científica*, v. 11, n. 2, p. 3-20, 2011.
- NAVARRO, G.R.B.; ZANARDO, A.; MONTIBELLER, C.C.; LEME, T.G.; CONCEIÇÃO, F.T. Termobarometria e trajetória P-T de metassedimentos do Grupo Araxá em Goiás. São Paulo, Unesp. **Geociências**, v. 38, n. 2, p. 315-330, 2019.
- O'BRIEN, P.J. & RÖTZLER, J. High-pressure granulites: formation, recovery of peak conditions and implications for tectonics. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 21, n. 1, p. 3-20, 2003.
- OLSEN, T.S. & KOHLSTEDT, D.L. Natural deformation and recrystallization of some intermediate plagioclase feldspars. **Tectonophysics**, v. 111, n. 1-2, p. 107-131, 1985.
- PALIN, R.M. & DYCK, B. Metamorphism of pelitic (Al-rich) rocks. In: ALDERTON, D. & ELIAS, S.A. (Eds). **Encyclopedia of Geology** (2ª Ed.). Oxford: Academic Press, p. 445-456, 2021.
- PASSCHIER, C.W. & COELHO, S. An outline of shear-sense analysis in high-grade rocks. **Gondwana Research**, v. 10, n. 1-2, p. 66-76, 2006.
- PIUZANA, D.; PIMENTEL, M.M.; FUCK, R.A.; ARMSTRONG, R. 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, 2003.
- PRIOR, D.J.; WHEELER, J.; BRENKER, F.E.; HARTE, B.; MATTHEWS, M. Crystal plasticity of natural garnet: new microstructural evidence. **Geology**, v. 28, n. 11, p. 1003-1006, 2000.
- PRYER, L.L. Microstructures in feldspars from a major crustal thrust zone: the Grenville Front, Ontario, Canada. **Journal of Structural Geology**, v. 15, n. 1, p. 21-36, 1993.
- SEER, H.J. **Evolução Tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na sinforma de Araxá, Araxá, Minas Gerais**. Brasília, 1999. 267 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- SEER, H.J.; BROD, J.A.; FUCK, R.A.; PIMENTEL, M.M.; BOAVENTURA, G.; DARDENNE, M.A. O Grupo Araxá em sua área tipo: um fragmento de crosta oceânica neoproterozoica na Faixa de Dobramentos Brasília. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, p. 385-396, 2001.
- SEER, H.J.; BROD, J.A.; VALERIANO, C.M.; FUCK, R.A. Leucogranitos intrusivos no Grupo Araxá: registro de um evento magmático durante colisão Neoproterozoica na porção meridional da Faixa. Brasília. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 1, p. 33-42, 2005.
- SILVA, C.H. **Evolução Geológica da Faixa Brasília na região de Tapira, sudoeste de Minas Gerais**. Rio Claro, 2003. 196 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- SIMÕES, L.S.A. & NAVARRO, G. Estruturação da Faixa Brasília na Região de Araxá - MG In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996. v. 6, p. 92-95.
- SIMÕES, L.S.A. **Compartimentos crustais do Domínio Interno da Faixa Brasília no sul de Goiás**. Rio Claro, 2005. 104 p. Tese (Livre-Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- SIMÕES, L.S.A. **Evolução tectonometamórfica da nappe de Passos, sudoeste de Minas Gerais**. São Paulo, 1995. 149 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SPEAR, F.S. **Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths**. Washington: Mineralogical Society of America, 1993. 789 p.
- STIPP, M. STÜNITZ, H.; HEILBRONNER, R.; SCHMID, S.M. Dynamic recrystallization of quartz: correlation between natural and experimental conditions. Geological Society, London, **Special Publications**, v. 200, n. 1, p. 171-190, 2002.
- 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, 1991.
- TEN GROTENHUIS, S.M.; TROUW, R.A.J.; PASSCHIER, C.W. Evolution of mica fish in mylonitic rocks. **Tectonophysics**, v. 372, n. 1-2, p. 1-21, 2003.
- VALERIANO, C.M.; MACHADO, N.; SIMONETTI, A.; VALLADARES, C.S.; SEER, H.J.; SIMÕES, L.S.A. U-Pb geochronology of the southern Brasília belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West Gondwana. **Precambrian Research**, v. 130, n. 1-4, p. 27-55, 2004.
- VALERIANO, C.M.; TEIXEIRA, W.; HEILBRON, M.; SIMÕES, L.S.A. Southern Brasília Belt (SE Brazil): tectonic discontinuities, K-Ar data and evolution during the Neoproterozoic Brasiliano Orogeny. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 1, p. 195-199, 2000.
- WOODSWORTH, G.J. Homogenization of zoned garnets from pelitic schists. **The Canadian Mineralogist**, v. 15, n. 2, p. 230-242, 1977.
- YARDLEY, B.W.D. An empirical study of diffusion in garnet. **American Mineralogist**, v. 62, n. 7-8, p. 793-800, 1977.
- YARDLEY, B.W.D. **An introduction to metamorphic petrology**. England: Longman Group, 1989. 248 p.
- ZANARDO, A. **Análise petrográfica, estratigráfica e microestrutural da região de Guaxupé-Passos-Delfinópolis (MG)**. Rio Claro, 1992. 288 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- ZANARDO, A.; DEL LAMA, E.A.; MORALES, N.; OLIVEIRA, M.A.F. Geologia da porção limítrofe em os blocos São Paulo e Brasília. São Paulo, Unesp. **Geociências**, v. 15, n. esp., p. 143-168, 1996.
- ZANARDO, A.; MORALES, N.; CARVALHO, S.G.; SIMÕES, L.S.A.; OLIVEIRA, M.A.F. Evolução metamórfica da porção sul do Cráton Paramirim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal. **Anais...**Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990. v. 4, p. 1945-1955.
- ZANARDO, A.; MORALES, N.; OLIVEIRA, M.A.F.; DEL LAMA, E.A. Tectono-lithologic associations of the Alterosa Paleo Suture Zone - Southeastern Brazil. **Revista UnG - Geociências**, v. 5, n. 1, p. 103-117, 2006.
- ZHANG, R.Y. & LIOU, J.G. Exsolution lamellae in minerals from ultrahigh-pressure rocks. **International Geology Review**, v. 41, n. 11, p. 981-993, 1999.
- ZHANG, R.Y.; ZHAI, S.M.; FEI, Y.W.; LIOU, J.G. Titanium solubility in coexisting garnet and clinopyroxene at very high pressure: the significance of exsolved rutile in garnet. **Earth Planetary Sciences Letter**, v. 216, n. 4, p. 591-601, 2003.

Submetido em 1º de novembro de 2023

Aceito para publicação em 15 de dezembro de 2023

## APÊNDICE

**Tabela A.1** - Análises químicas representativas por microsonda eletrônica em cristais de granada e proporção molecular dos cristais analisados. Os átomos por unidade de fórmula (*a.p.u.f.*) foram calculados na base de 12 oxigênios.

Amostra	TGL-39-E											
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cristal	1_01	1_02	1_03	1_05	1_07	1_08	1_09	1_11	1_12	1_13	1_14	1_15
SiO <sub>2</sub>	38.51	38.60	38.56	38.74	38.78	38.99	38.80	38.81	38.85	38.62	38.87	38.81
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.63	21.73	21.85	21.74	21.85	21.62	21.82	21.75	21.71	21.76	21.77	21.74
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.01	0.03	0.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.62	0.90	0.21	0.44	0.00	0.24	0.47	0.33	0.22	0.00	0.04
FeO	30.50	29.41	28.65	29.00	28.65	28.78	29.03	28.84	28.89	28.28	28.17	28.03
MnO	0.95	0.79	0.76	0.77	0.77	0.74	0.78	0.70	0.71	0.67	0.68	0.63
MgO	5.84	6.10	6.23	6.43	6.45	6.53	6.59	6.88	6.65	6.83	6.81	7.00
CaO	2.92	3.84	4.22	3.87	4.12	4.11	3.63	3.47	3.86	3.84	4.11	4.05
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01
K <sub>2</sub> O	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02
<b>Total</b>	<b>100.40</b>	<b>101.18</b>	<b>101.25</b>	<b>100.83</b>	<b>101.14</b>	<b>100.85</b>	<b>100.98</b>	<b>100.98</b>	<b>101.04</b>	<b>100.29</b>	<b>100.48</b>	<b>100.35</b>
Si	3.01	2.99	2.98	3.00	3.00	3.02	3.00	3.00	3.00	3.00	3.01	3.01
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.99	1.98	1.99	1.99	1.99	1.97	1.99	1.98	1.98	1.99	1.99	1.99
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
Fe <sup>3+</sup>	0.00	0.04	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00
Fe <sup>2+</sup>	2.00	1.91	1.85	1.88	1.85	1.86	1.88	1.86	1.87	1.84	1.82	1.82
Mn	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
Mg	0.68	0.71	0.72	0.74	0.74	0.75	0.76	0.79	0.77	0.79	0.79	0.81
Ca	0.25	0.32	0.35	0.32	0.34	0.34	0.30	0.29	0.32	0.32	0.34	0.34
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>ΣCátions</b>	<b>7.99</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>
Alm	67	64	62	63	62	62	63	62	62	61	61	61
Prp	23	24	24	25	25	25	25	27	26	26	26	27
Grs	8	9	9	10	10	11	9	8	10	10	11	11
Sps	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Adr	0	2	3	1	1	0	1	1	1	1	0	0

**Tabela A.1** - - Análises químicas representativas por microsonda eletrônica em cristais de granada e proporção molecular dos cristais analisados. Os átomos por unidade de fórmula (*a.p.u.f.*) foram calculados na base de 12 oxigênios.  
(*continuação*)

Amostra	TGL-57-A											
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cristal	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_10	I_11	I_12
SiO <sub>2</sub>	39.35	39.67	39.63	39.61	39.51	39.41	39.64	39.62	39.88	39.70	39.45	39.58
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.04	0.05	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.26	22.40	22.22	22.33	22.46	22.58	22.32	22.63	22.46	22.23	22.46	22.40
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02	0.02	0.03	0.06	0.06	0.02	0.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.85	0.33	0.51	0.49	1.09	1.26	0.58	1.10	0.82	0.64	1.22	0.44
FeO	21.79	22.01	21.97	22.21	21.99	21.63	22.15	21.81	21.99	22.05	21.60	22.25
MnO	0.61	0.59	0.58	0.58	0.59	0.61	0.61	0.60	0.61	0.61	0.61	0.58
MgO	11.36	11.36	11.38	11.35	11.35	11.44	11.34	11.50	11.51	11.41	11.43	11.28
CaO	3.46	3.57	3.52	3.41	3.49	3.52	3.48	3.48	3.53	3.48	3.57	3.40
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
<b>Total</b>	<b>99.74</b>	<b>99.98</b>	<b>99.91</b>	<b>100.06</b>	<b>100.54</b>	<b>100.52</b>	<b>100.17</b>	<b>100.8</b>	<b>100.91</b>	<b>100.23</b>	<b>100.42</b>	<b>100.03</b>
Si	2.98	2.99	2.99	2.99	2.97	2.96	2.99	2.97	2.98	2.99	2.97	2.99
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.99	1.99	1.98	1.99	1.99	2.00	1.98	2.00	1.98	1.97	1.99	1.99
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
Fe <sup>3+</sup>	0.05	0.02	0.03	0.03	0.06	0.07	0.03	0.06	0.05	0.04	0.07	0.03
Fe <sup>2+</sup>	1.38	1.39	1.39	1.40	1.38	1.36	1.40	1.37	1.38	1.39	1.36	1.41
Mn	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Mg	1.28	1.28	1.28	1.28	1.27	1.28	1.27	1.28	1.28	1.28	1.28	1.27
Ca	0.28	0.29	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29	0.28
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>ΣCátions</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>
Alm	46	46	46	47	47	46	47	46	46	46	46	47
Prp	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	42
Grs	7	9	8	8	6	6	8	6	7	8	6	8
Sps	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Adr	2	1	1	1	3	3	2	3	2	2	3	1

**Tabela A.1** - Análises químicas representativas por microsonda eletrônica em cristais de granada e proporção molecular dos cristais analisados. Os átomos por unidade de fórmula (*a.p.u.f.*) foram calculados na base de 12 oxigênios. (*continuação*)

Amostra	TGL-74											
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cristal	1_01	1_02	1_03	1_04	1_05	1_06	1_07	1_08	1_09	1_10	1_11	1_12
SiO <sub>2</sub>	38.25	37.72	38.19	38.25	38.52	38.98	38.58	38.46	38.77	38.25	38.07	38.11
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.08	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.00	0.04	0.01	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.21	21.11	21.23	21.28	21.48	21.74	21.49	21.61	21.53	21.38	21.35	21.49
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	0.03	0.02	0.06	0.04	0.03	0.06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.66	1.69	1.81	1.99	1.59	0.52	1.51	1.26	0.75	1.55	1.84	1.96
FeO	25.81	24.92	25.17	25.10	24.97	25.90	25.04	25.06	25.45	24.83	24.35	23.94
MnO	1.06	0.91	0.88	0.86	0.86	0.84	0.85	0.86	0.84	0.87	0.84	0.86
MgO	6.33	6.89	7.28	7.39	7.51	7.37	7.60	7.51	7.53	7.48	7.40	7.42
CaO	5.82	5.36	5.05	5.04	5.19	5.11	5.13	5.08	5.08	5.16	5.44	5.75
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03
K <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
<b>Total</b>	<b>100.26</b>	<b>98.77</b>	<b>99.71</b>	<b>100.02</b>	<b>100.25</b>	<b>100.56</b>	<b>100.28</b>	<b>99.92</b>	<b>100.03</b>	<b>99.62</b>	<b>99.37</b>	<b>99.65</b>
Si	2.98	2.97	2.97	2.97	2.98	3.00	2.98	2.98	3.00	2.97	2.97	2.96
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.95	1.96	1.95	1.95	1.96	1.97	1.96	1.97	1.96	1.96	1.96	1.97
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
Fe <sup>3+</sup>	0.10	0.10	0.11	0.12	0.09	0.03	0.09	0.07	0.04	0.09	0.11	0.11
Fe <sup>2+</sup>	1.68	1.64	1.64	1.63	1.61	1.67	1.62	1.62	1.65	1.61	1.59	1.56
Mn	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Mg	0.73	0.81	0.85	0.86	0.86	0.85	0.87	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86
Ca	0.49	0.45	0.42	0.42	0.43	0.42	0.42	0.42	0.42	0.43	0.45	0.48
Na	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Σ Cátions</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>	<b>8.00</b>
Alm	57	55	55	55	54	56	54	55	55	54	54	53
Prp	25	27	29	29	29	28	29	29	29	29	29	29
Grs	12	10	9	9	10	13	10	11	12	10	10	11
Sps	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Adr	5	5	5	6	5	1	4	4	2	4	5	5

**Tabela A.2** - Análises químicas representativas por microsonda eletrônica em cristais de plagioclásio. Os átomos por unidade de fórmula (*a.p.u.f.*) foram calculados na base de oito oxigênios.

Amostra	TGL-39-E				TGL-57-A				TGL-74			
	65	85	87	88	16	17	19	20	17	21	24	26
<b>Análise</b>												
<b>SiO<sub>2</sub></b>	59.46	60.49	59.56	59.07	61.12	62.08	61.52	61.50	56.46	57.63	57.28	56.06
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	26.46	25.63	25.95	26.53	24.12	23.87	23.89	23.96	27.95	27.31	27.07	27.91
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.05	0.02	0.01	0.08	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04	0.05	0.05	0.02
<b>MnO</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>MgO</b>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>BaO</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.05	0.00
<b>CaO</b>	7.70	6.86	7.39	7.98	5.06	4.78	5.05	5.16	8.97	8.29	8.10	9.16
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	7.23	7.60	7.25	7.00	8.35	8.63	8.50	8.59	6.38	6.82	6.80	6.37
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.27	0.27	0.23	0.18	0.36	0.32	0.43	0.34	0.15	0.24	0.21	0.12
<b>Total</b>	101.17	100.86	100.39	100.85	99.06	99.70	99.41	99.60	99.96	100.37	99.57	99.62
<b>Si</b>	2.63	2.67	2.65	2.62	2.74	2.76	2.75	2.74	2.53	2.57	2.58	2.53
<b>Ti</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Al</b>	1.38	1.33	1.36	1.39	1.27	1.25	1.26	1.26	1.48	1.44	1.43	1.48
<b>Cr</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Fe<sup>3+</sup></b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Mn</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Mg</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ba</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ca</b>	0.36	0.32	0.35	0.38	0.24	0.23	0.24	0.25	0.43	0.40	0.39	0.44
<b>Na</b>	0.62	0.65	0.62	0.60	0.72	0.74	0.74	0.74	0.56	0.59	0.59	0.56
<b>K</b>	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>ΣCátions</b>	<b>5.00</b>	<b>4.99</b>	<b>4.99</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>	<b>5.00</b>	<b>5.01</b>	<b>5.01</b>	<b>5.01</b>	<b>5.01</b>	<b>5.01</b>	<b>5.01</b>
<b>Ab</b>	62	66	63	61	73	75	73	74	56	59	60	55
<b>An</b>	36	33	36	38	25	23	24	24	43	40	39	44
<b>Or</b>	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1

**Tabela A.3** - Análises químicas por microsonda eletrônica em cristais de feldspato potássico. Os átomos por unidade de fórmula (*a.p.u.f.*) foram calculados na base de oito oxigênios.

Amostra	TGL-39-E									
	67	68	69	70	71	72	78	79	81	82
SiO <sub>2</sub>	65.24	64.77	64.78	64.94	64.35	64.76	65.01	64.94	64.64	65.48
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.21	19.16	19.17	19.24	19.32	19.08	19.43	18.84	19.03	18.91
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
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BaO	0.57	0.59	0.54	0.54	0.55	0.54	0.55	0.40	0.56	0.40
CaO	0.19	0.09	0.09	0.11	0.13	0.10	0.13	0.07	0.08	0.02
Na <sub>2</sub> O	1.20	1.21	1.03	1.14	1.31	1.23	1.26	0.81	1.02	0.71
K <sub>2</sub> O	14.16	14.37	14.55	14.60	14.19	14.29	14.31	15.17	14.66	15.30
<b>Total</b>	<b>100.58</b>	<b>100.19</b>	<b>100.16</b>	<b>100.58</b>	<b>99.87</b>	<b>100.00</b>	<b>100.68</b>	<b>100.26</b>	<b>99.99</b>	<b>100.82</b>
Si	2.98	2.98	2.98	2.97	2.97	2.98	2.97	2.99	2.98	2.99
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.03	1.04	1.04	1.04	1.05	1.03	1.05	1.02	1.03	1.02
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>3+</sup>	0.00	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
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ca	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Na	0.11	0.11	0.09	0.10	0.12	0.11	0.11	0.07	0.09	0.06
K	0.83	0.84	0.85	0.85	0.83	0.84	0.83	0.89	0.86	0.89
∑Cátions	<b>4.97</b>	<b>4.98</b>	<b>4.98</b>	<b>4.98</b>	<b>4.98</b>	<b>4.98</b>	<b>4.98</b>	<b>4.98</b>	<b>4.98</b>	<b>4.97</b>
Ab	11	11	10	11	12	12	12	8	10	7
An	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Or	88	88	90	89	87	88	88	92	90	93

**Tabela A.4** - Análises químicas representativas por microsonda eletrônica em cristais de biotita. Os átomos por unidade de fórmula (*a.p.u.f.*) foram calculados na base de 22 oxigênios.

Amostra	TGL-39-E				TGL-57-A				TGL-74			
	1	7	9	11	8	9	16	18	1	3	5	6
<b>SiO<sub>2</sub></b>	35.58	35.76	35.58	35.59	37.05	36.67	36.74	36.60	35.73	34.97	35.14	35.55
<b>TiO<sub>2</sub></b>	3.85	4.39	3.84	4.40	5.01	5.72	5.42	5.65	3.34	4.74	5.06	4.25
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	18.50	18.33	18.45	18.38	15.61	15.60	15.59	15.27	18.10	17.18	16.95	17.33
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.07	0.06	0.04	0.03	0.08	0.16	0.17	0.15	0.05	0.02	0.03	0.02
<b>FeO</b>	17.90	18.86	17.73	17.52	10.73	11.59	12.03	12.63	16.94	17.72	17.58	16.70
<b>MnO</b>	0.03	0.05	0.01	0.00	0.02	0.02	0.04	0.01	0.04	0.04	0.02	0.02
<b>MgO</b>	9.57	8.31	9.22	9.62	15.39	14.26	14.15	13.87	10.93	10.00	10.39	11.20
<b>BaO</b>	*	*	*	*	0.25	0.28	0.32	0.31	0.47	0.59	0.52	0.57
<b>CaO</b>	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0.08	0.09	0.07	0.08	0.03	0.04	0.03	0.03	0.05	0.09	0.10	0.13
<b>K<sub>2</sub>O</b>	9.77	9.63	9.62	9.44	9.25	9.46	9.42	9.46	9.45	9.48	9.55	9.32
Total	95.35	95.48	94.55	95.08	93.43	93.79	93.91	93.97	95.12	94.87	95.35	95.11
<b>Si</b>	5.39	5.42	5.42	5.38	5.53	5.49	5.51	5.50	5.41	5.36	5.35	5.39
<b>Ti</b>	0.44	0.50	0.44	0.50	0.56	0.64	0.61	0.64	0.38	0.55	0.58	0.48
<b>Al</b>	3.30	3.28	3.31	3.28	2.75	2.75	2.76	2.71	3.23	3.10	3.04	3.10
<b>Cr</b>	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
<b>Fe<sup>2+</sup></b>	2.27	2.39	2.26	2.22	1.34	1.45	1.51	1.59	2.15	2.27	2.24	2.12
<b>Mn</b>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
<b>Mg</b>	2.16	1.88	2.09	2.17	3.43	3.18	3.16	3.11	2.47	2.28	2.36	2.53
<b>Ba</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03
<b>Ca</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Na</b>	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.04
<b>K</b>	1.89	1.86	1.87	1.82	1.76	1.81	1.80	1.82	1.82	1.85	1.86	1.80
<b>ΣCátions</b>	15.47	15.38	15.42	15.40	15.41	15.38	15.40	15.41	15.51	15.48	15.49	15.50



**Tabela A.5** - Análises químicas representativas por microsonda eletrônica em cristais de muscovita. Os átomos por unidade de fórmula (*a.p.u.f.*) foram calculados para 22 oxigênios.

Amostra	TGL-39-E						TGL-74					
	1	2	3	5	6	7	15	17	19	20	22	23
<b>SiO<sub>2</sub></b>	46.54	46.90	47.03	47.13	46.95	46.36	45.62	45.75	45.46	45.40	45.39	45.72
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.89	0.90	0.83	0.66	1.00	0.60	0.45	0.41	0.52	0.36	0.56	0.90
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	34.76	35.62	35.62	35.19	33.35	35.17	35.35	35.42	34.79	34.86	35.90	34.81
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.13	0.08	0.17	0.09	0.04	0.05
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1.45	1.67	1.52	1.86	1.81	1.49	1.98	1.96	2.09	2.93	1.99	2.65
<b>MnO</b>	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
<b>MgO</b>	0.81	0.43	0.56	0.91	1.38	0.89	0.87	0.85	0.93	0.97	0.78	0.85
<b>CaO</b>	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0.32	0.27	0.26	0.29	0.25	0.40	0.59	0.59	0.55	0.90	0.64	0.49
<b>K<sub>2</sub>O</b>	8.96	8.63	8.49	8.71	8.35	8.72	9.96	9.71	9.52	9.43	9.75	9.31
<b>Total</b>	93.73	94.45	94.37	94.78	93.10	93.67	95.24	95.09	94.44	95.26	95.66	95.31
<b>Si</b>	6.21	6.20	6.21	6.22	6.30	6.19	6.08	6.09	6.10	6.06	6.03	6.09
<b>Ti</b>	0.09	0.09	0.08	0.07	0.10	0.06	0.05	0.04	0.05	0.04	0.06	0.09
<b>Al</b>	5.47	5.55	5.55	5.47	5.27	5.53	5.55	5.56	5.50	5.48	5.62	5.46
<b>Cr</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
<b>Fe<sup>3+</sup></b>	0.15	0.17	0.15	0.18	0.18	0.15	0.20	0.20	0.21	0.29	0.20	0.27
<b>Mn</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Mg</b>	0.16	0.09	0.11	0.18	0.28	0.18	0.17	0.17	0.19	0.19	0.15	0.17
<b>Ca</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Na</b>	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.10	0.15	0.15	0.14	0.23	0.17	0.13
<b>K</b>	1.53	1.45	1.43	1.47	1.43	1.49	1.69	1.65	1.63	1.61	1.65	1.58
<b>Σ Cations</b>	<b>13.69</b>	<b>13.62</b>	<b>13.61</b>	<b>13.66</b>	<b>13.62</b>	<b>13.70</b>	<b>13.92</b>	<b>13.88</b>	<b>13.87</b>	<b>13.93</b>	<b>13.91</b>	<b>13.81</b>

**Tabela A.6** - Análises químicas por microsonda eletrônica em cristais de cianita. Os átomos por unidade de fórmula (*a.p.u.f.*) foram calculados para 20 oxigênios

<b>Amostra</b>	<b>TGL-39-E</b>									
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	37.42	37.52	37.58	37.36	37.39	37.16	37.59	37.74	37.24	37.54
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	62.54	62.83	62.76	62.73	62.26	62.00	62.77	62.94	62.84	62.76
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.02	0.03	0.06	0.00	0.02
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0.63	0.69	0.97	0.64	0.64	0.72	0.69	0.79	0.68	0.70
<b>MnO</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>MgO</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>BaO</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>CaO</b>	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.02	0.00	0.02	0.02	0.03	0.01	0.00	0.00	0.03	0.03
<b>Total</b>	<b>100.65</b>	<b>101.11</b>	<b>101.36</b>	<b>100.77</b>	<b>100.33</b>	<b>99.93</b>	<b>101.10</b>	<b>101.54</b>	<b>100.80</b>	<b>101.09</b>
<b>Si</b>	4.02	4.01	4.01	4.01	4.03	4.02	4.02	4.02	4.00	4.02
<b>Ti</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Al</b>	7.92	7.92	7.90	7.93	7.91	7.91	7.91	7.90	7.95	7.92
<b>Cr</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
<b>Fe<sup>3+</sup></b>	0.05	0.06	0.08	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06
<b>Mn</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Mg</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ba</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Ca</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Na</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>K</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00