

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ZONAÇÃO METAMÓRFICA DA FORMAÇÃO TURVO-CAJATI

Bruna da Silva Ricardo

Orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes
Coorientador: Frederico Meira Faleiros

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF – 2017/03)

SÃO PAULO
2017

De acordo,

Bruna da Silva Ricardo

Renato de Moraes

Frederico Meira Faleiros

RESUMO

No Vale do Ribeira, nos Estados de SP e PR, afloram rochas metamórficas da Formação Turvo-Cajati, que apresentam diferentes condições de temperatura e pressão, variando entre fácies xisto verde inferior até alcançar a fusão parcial em fácies granulito. No presente estudo, foi estabelecido o padrão de zonação metamórfica da Formação Turvo-Cajati, na região de Cajati, com a análise das paragêneses, química mineral, cálculo das condições *P-T* do pico metamórfico de cada zona metamórfica e confecção de pseudosseções.

Com a petrografia, foram definidas as paragêneses das zonas da biotita, granada, estaurolita e sillimanita, que representam incremento de temperatura do metamorfismo de leste para oeste. Na zona de mais alta temperatura, a presença de sillimanita + estaurolita e ausência de cianita indicam que o pico metamórfico ocorreu com pressões inferiores a 8 kbar.

Os cálculos de pressão e temperatura mostram pequena variação das condições do metamorfismo entre as rochas estudadas, inferindo-se que a diferença de paragêneses nessas rochas deve-se à diferença composicional entre elas. As condições do pico metamórfico das zonas são, respectivamente: 580 ± 8 °C e $6,46 \pm 0,5$ kbar, 610 ± 17 °C e $6,71 \pm 0,71$ kbar e 672 ± 10 °C e $6,23 \pm 0,4$ kbar. O gradiente metamórfico de campo é paralelo ao de estudos prévios, dentro do campo de pressão mais baixas do metamorfismo barroviano.

As pseudosseções calculadas com os programas THERMOCALC e PERPLEX são similares, embora a do THERMOCALC seja mais simples e parece refletir melhor as condições da natureza. Os valores *P-T* obtidos em termobarometria são compatíveis com os campos das associações minerais das paragêneses das amostras estudadas, com uma zona de coexistência de estaurolita, biotita, granada e sillimanita na zona de mais alta temperatura.

A Formação Turvo-Cajati reúne rochas que apresentam mais de um tipo de gradiente metamórfico de campo e deve, assim, reunir rochas metamorfitizadas em diferentes regimes tectônico-metamórficos.

ABSTRACT

In the Vale do Ribeira region, SP and PR states, metamorphic rocks of the Turvo-Cajati Formation crop out. These rocks have different metamorphic conditions of pressure and temperature, from low greenschist facies until reaching partial melting in granulite facies. In the present study, the metamorphic zoning of the Turvo-Cajati Formation was established, in the region of Cajati, with paragenesis analysis, mineral chemistry, calculation of the *P-T* conditions of each metamorphic zone and pseudosections calculations.

In petrography, zones of biotite, garnet, staurolite and sillimanite are recognized, representing an increase in the temperature of the metamorphism from east to west. In the higher temperature zone, the presence of sillimanite + staurolite and lack of kyanite indicate the metamorphic peak happened at pressures lower than 8 kbar.

The pressure and temperature calculation shows a small variation between conditions of metamorphism between the analyzed rocks. With these results, it is inferred the mineralogical difference in the paragenesis happens due to differences in bulk-rock compositions. The conditions of the metamorphic peak of each zone are, respectively: 580 ± 8 °C and $6.46\pm0,5$ kbar, 610 ± 17 °C and $6.71\pm0,71$ kbar and 672 ± 10 °C and 6.23 ± 0.4 kbar. The defined metamorphic field gradient is parallel to previous ones, but it is within the lower pressure range of the barrovian metamorphism.

The similar pseudosections were calculated with the softwares THERMOCALC and PERPLEX. Although, the one calculated with THERMOCALC is simpler and seems to be closer to what happens in nature. The *P-T* values from thermobarometry are compatible with the fields of mineral assemblages from the analyzed samples paragenesis, with the coexistence of staurolite, biotite, garnet and sillimanite, in the higher temperature zone.

The Turvo-Cajati Fromation contains rocks with more than one type of metamorphic field gradient and probably comprises of rocks that underwent metamorphism in different tectono-metamorphic regimes.

AGRADECIMENTOS

Mãe, te sinto todos os dias ao meu lado, em cada passo que dou, sinto seu olhar sobre mim através dos pássaros em meu caminho, dos gatinhos que cruzo na rua. Isso tudo é pra você, esse trabalho é pra você. Sei que você acompanhou todo o desenvolvimento de onde esteve e que um dia vamos conversar sobre toda essa loucura que tem sido minha vida sem você lado a lado de novo. Obrigada é muito pouco perto do que você merece. Te amo.

Ao meu pai, só nós sabemos o que passamos nesse último ano. Por estar sempre por mim, ao meu lado, me dando forças, me apoiando em todas as decisões e por realmente ser meu porto seguro. Não poderia deixar de agradecer também à toda minha família, em especial minha Tia Vera e ao Pedrinho, esse ser humano complexo e incrível que tenho o (des)prazer de chamar de primo-irmão.

Ao meu orientador Renato de Moraes, pelo auxílio e paciência em todas as etapas dessa aventura, por confiar em mim desde o primeiro momento. Ao Frederico Meira Faleiros, por toda a experiência transmitida ao longo desses anos. E aos demais professores que me ajudaram a construir o (pouco) conhecimento de vida e de geologia que carrego. Além de um agradecimento especial à Liane, sem a qual jamais teria prestado geologia, tenho um espaço carinhoso em minha memória pra você.

À FAPESP pelo auxílio financeiro nesse trabalho (Processos 2015/04487-7 e 2016/12986-6). Também agradeço ao Programa Unificado de Bolsas da USP (PUB) pelo financiamento no início da pesquisa. Algumas pessoas que ajudaram nesse trabalho com discussões geológicas e outros mais Fofis, Mindi e Maurício Pavan.

À Universidade de São Paulo e ao Instituto de Geociências e todos os seus funcionários. Um obrigada sincero a cada um que ajuda direta e indiretamente a trazer esse lugar surreal a vida diariamente. Também aos funcionários do CEPE-USP, minha graduação não seria a mesma sem. Aos funcionários do IGc, em especial aos motoristas, Antônio da portaria, ao Samuca e ao Leandro e Marcos da microssonda.

À AAA Geologia que tanto me acolheu. Eu honestamente não imagino minha graduação sem essa relação de amor-ódio que venho desenvolvendo por 4 anos. E a todos que me ajudaram a tornar inúmeros projetos realidade nesses anos como Ari, Moles, Dilma, Sarjeta, Virjão, Free, Mel, Gorfo, Pink, Pepeu, Carioca, Belo, entre tantos outros. Welzin, nossa gestão ainda foi e sempre será a melhor! Muito muito obrigada por tudo.

Ao vôlei GeoPsico, um dos melhores presentes de 2017 e ao vôlei Geo 2014-2016 por todos os momentos em que foram descarga de estresse e me aguentaram reclamar. As amigas e companheiras dos dias de luta e de glória Baia, Brenda, Lezera, Baby, Tati, Nadine, Cici, Maitê, Take, BruYes, Ne... a lista continua e aos técnicos que me ajudaram na evolução pessoal, em especial ao Dennis e Portuga.

Ao nois, não tenho palavras. A graduação não existiria sem vocês. Eu não seria a mesma sem vocês. Murtinha, Pika, Bug, Bamby, Maeloka, Aids, Bandida, Eunucs, Aleja, Sporks, Ympa e Bigode. E à Intru, Xica, Fê, Furunka, Lelek e Mimosa, vocês são especiais. Nunca se esqueçam disso.

À toda turma 56 e os demais que passaram nesses tempos difíceis de campos, provas, relatórios e areião. Ao meu bonde da petro-café que supriram meu vício e meu ócio. Lê, MissDana, Fofolete, Fran. Espero que a parceria continue. À Carina, minha fofoqueira da Petro preferida.

Aos que o tempo e a distância não afetaram nossa amizade antiga, obrigada pelos esporádicos reencontros, mas cheios de nostalgia e carinho. Aninha, Vick, Vitor, Ferdinanda, Joe, pessoal da ACM. Ao pessoal que tornam morar ‘sozinha’ mais colorido, Lari e Bia, obrigada por compartilharem comida e risadas comigo.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que cruzaram minha vida nesses 5 anos e deixou alguma mensagem de luz em meus dias e que me permitiu marcá-lo de certa forma. A graduação foi uma montanha-russa infinita, mas daquelas que você sai amando e querendo repetir! Eu não mudaria nada. Faria tudo de novo. E isso se deve a todas as pessoas incríveis que interagi.

1. INTRODUÇÃO

Após o reconhecimento por Barrow (1912), nas Terras da Alta Escócia, de rochas com sucessão de minerais índices que representam incremento progressivo das condições do metamorfismo, a mesma sequência foi reconhecida em vários locais do planeta em diversos cinturões metamórficos. Na Faixa Ribeira, nas rochas expostas entre São Paulo e Paraná, ocorrem diversas unidades de rochas metamórficas que apresentam condições *P-T* variadas de metamorfismo, desde as da fácie xisto verde inferior, como na Formação Capiru, até as da fácie granulito, como observado no Complexo Atuba (Faleiros, 2008), o que faz da região local interessante para a investigação do metamorfismo regional.

A Formação Turvo-Cajati é caracterizada por sequência progressiva de metamorfismo, que varia desde as condições de fácie xisto verde até anfibolito superior, mas em condições de pressões mais elevadas do que o metamorfismo típico barroviano (Faleiros, 2008). Essas rochas ainda não foram investigadas com a abordagem neste trabalho dada e, por isso, foram estudadas na presente pesquisa.

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo foi refinar o estudo do metamorfismo na Formação Turvo-Cajati, permitindo uma melhor compreensão da relação das diferentes rochas pertencentes a ela, já estudadas em trabalhos prévios. Além disso, o estudo buscou definir a zonação do metamorfismo nas rochas de baixo a médio grau de metamorfismo da formação, algo que ainda não havia sido feito nessas rochas. Combinando as informações desse estudo com a bibliografia, esperou-se ter uma visão ampla do metamorfismo regional e das relações tectônicas na área de estudo e assim complementar os estudos da Faixa Ribeira como um todo

3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

O metamorfismo barroviano foi reconhecido e caracterizado por Barrow (1912), nas Terras da Alta Escócia, onde ele observou sequência de minerais a que denominou ‘áreas sucessivas’, posteriormente substituídas por ‘zonas metamórficas’. Esses minerais indicam que as rochas foram submetidas a condições progressivas de metamorfismo, ou seja, a condições crescentes de temperatura. As zonas caracterizadas por ele são compostas por minerais índices em rochas que se dispõem em torno de corpos graníticos, o que na época foram considerados como as possíveis fontes do calor do metamorfismo. As rochas observadas na Escócia apresentam a seguinte sucessão de minerais índices: clorita, biotita, granada, estaurolita, cianita (+biotita) e sillimanita

1. INTRODUÇÃO

Após o reconhecimento por Barrow (1912), nas Terras da Alta Escócia, de rochas com sucessão de minerais índices que representam incremento progressivo das condições do metamorfismo, a mesma sequência foi reconhecida em vários locais do planeta em diversos cinturões metamórficos. Na Faixa Ribeira, nas rochas expostas entre São Paulo e Paraná, ocorrem diversas unidades de rochas metamórficas que apresentam condições *P-T* variadas de metamorfismo, desde as da fácie xisto verde inferior, como na Formação Capiru, até as da fácie granulito, como observado no Complexo Atuba (Faleiros, 2008), o que faz da região local interessante para a investigação do metamorfismo regional.

A Formação Turvo-Cajati é caracterizada por sequência progressiva de metamorfismo, que varia desde as condições de fácie xisto verde até anfibolito superior, mas em condições de pressões mais elevadas do que o metamorfismo típico barroviano (Faleiros, 2008). Essas rochas ainda não foram investigadas com a abordagem neste trabalho dada e, por isso, foram estudadas na presente pesquisa.

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo foi refinar o estudo do metamorfismo na Formação Turvo-Cajati, permitindo uma melhor compreensão da relação das diferentes rochas pertencentes a ela, já estudadas em trabalhos prévios. Além disso, o estudo buscou definir a zonação do metamorfismo nas rochas de baixo a médio grau de metamorfismo da formação, algo que ainda não havia sido feito nessas rochas. Combinando as informações desse estudo com a bibliografia, esperou-se ter uma visão ampla do metamorfismo regional e das relações tectônicas na área de estudo e assim complementar os estudos da Faixa Ribeira como um todo

3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

O metamorfismo barroviano foi reconhecido e caracterizado por Barrow (1912), nas Terras da Alta Escócia, onde ele observou sequência de minerais a que denominou ‘áreas sucessivas’, posteriormente substituídas por ‘zonas metamórficas’. Esses minerais indicam que as rochas foram submetidas a condições progressivas de metamorfismo, ou seja, a condições crescentes de temperatura. As zonas caracterizadas por ele são compostas por minerais índices em rochas que se dispõem em torno de corpos graníticos, o que na época foram considerados como as possíveis fontes do calor do metamorfismo. As rochas observadas na Escócia apresentam a seguinte sucessão de minerais índices: clorita, biotita, granada, estaurolita, cianita (+biotita) e sillimanita

(+biotita). A sucessão indica aumento das condições do metamorfismo com aumento de temperatura, em regime de pressão intermediária, como pode ser observado na **Figura 1**.

Embora se repita em diversas regiões do planeta, a sucessão de minerais índices depende não só das condições de pressão e temperatura do metamorfismo, mas também da composição da rocha, principalmente das quantidades relativas de FeO, MgO e Al₂O₃. Assim, com base na composição, os pelitos podem ser divididos, de maneira simples, naqueles que, em diagrama AFM, caem em campo abaixo ou acima da linha de conexão granada-clorita. Os que caem abaixo dessa linha apresentam a sucessão típica barroviana (**Figura 2**), e são pelitos relativamente pobres em Al₂O₃. Os que caem acima dela são pelitos mais ricos em Al₂O₃, apresentam sucessões diversificadas de associações minerais, que contém cloritoide ou cianita em baixas temperaturas, ao invés de biotita (Yardley, 1989), e com pequenas mudanças nas razões desses óxidos várias sucessões podem ser observadas nas paragêneses (Bucher & Frey, 2002; **Figura 2**).

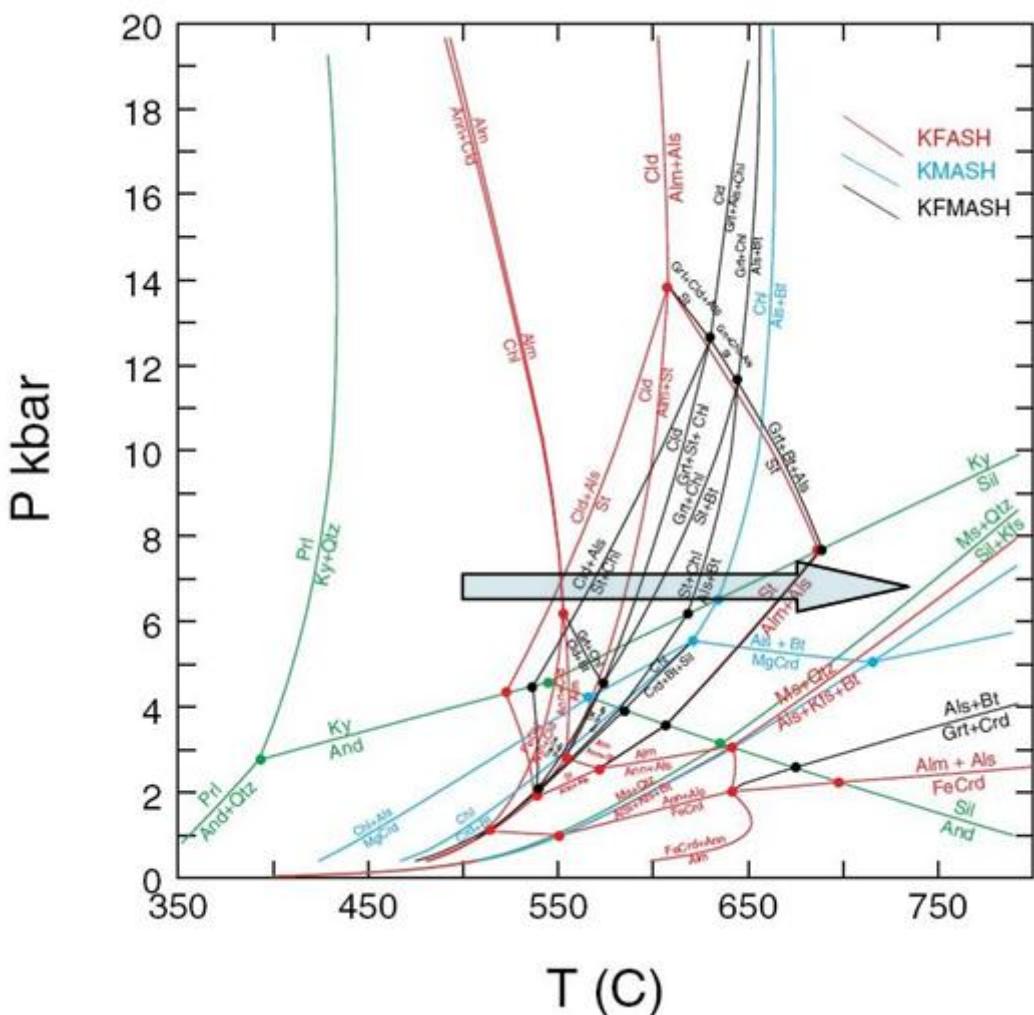


Figura 1: Grade petrogenética inédita modificada a partir de Spear & Cheney (1989), versão com cloritoide inédita. A seta azul indica uma aproximação do campo compreendido pelo metamorfismo barroviano.

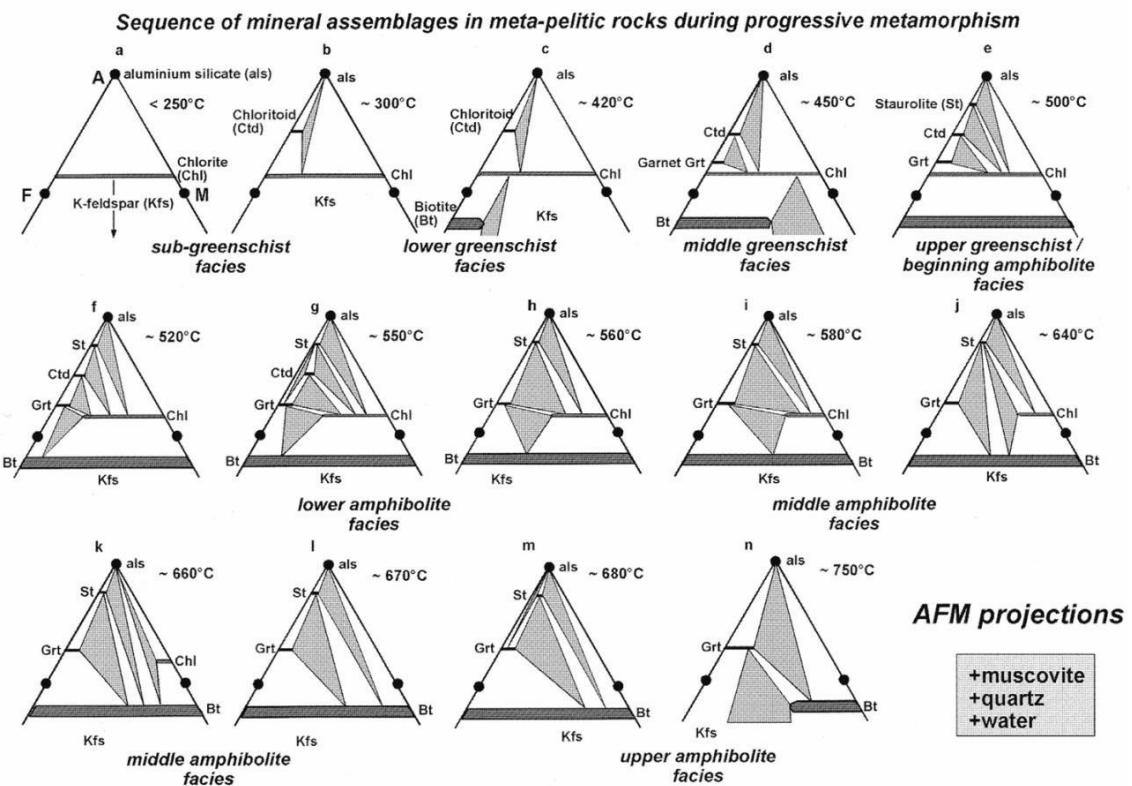


Figura 2: Sequência de diagramas AFM com as possíveis paragêneses entre as fácies xisto verde e anfibolito para pelitos ricos (acima da linha granada-clorita) e pobres (abaixo da linha granada-clorita) em Al₂O₃, extraído de Bücher & Frey (2004).

3.1 Geologia Regional

Na região da Faixa Ribeira Meridional, entre São Paulo e Paraná, ocorrem quatro domínios tectônicos: Terreno Apiaí, Terreno Curitiba, Terreno Luís Alves e Terreno Costeiro ou Paranaguá (Basei *et al.*, 1992), e as rochas investigadas neste projeto estão no Terreno Curitiba. Este terreno, juntamente com o Terreno Apiaí, representam segmentos tectônicos do Sistema Orogênico Mantiqueira (Brito Neves *et al.*, 1999), resultado da colisão entre as Placas São Francisco-Congo, Paranapanema e Rio de La Plata no Neoproterozoico, durante o processo de aglutinação que originou Gondwana Ocidental. Como resultado, a Faixa Ribeira é constituída por terrenos de diferentes idades, origens e limitados por falhas, com rochas do embasamento arqueano e paleoproterozoico, suítes vulcanossedimentares mesoproterozoicas e neoproterozoicas e granitoides intrusivos (Campos Neto, 2000) (**Figura 3**).

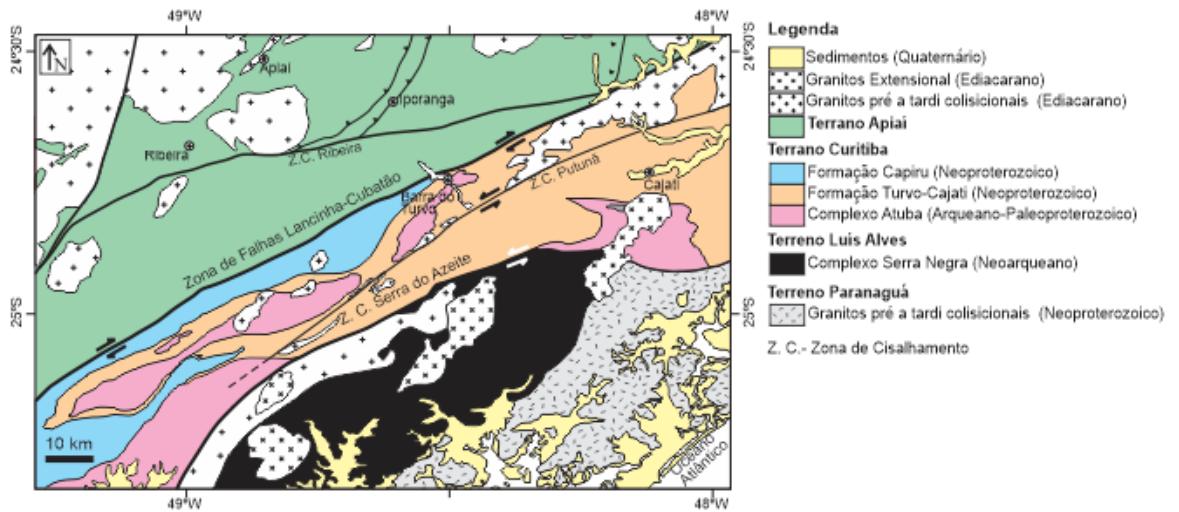


Figura 3: Mapa geológico simplificado da porção sul da Faixa Ribeira extraído de Faleiros *et al.*, (2016).

3.1.1 Terreno Curitiba

O Terreno Curitiba está localizado entre duas zonas de cisalhamento transcorrentes com movimentações distintas; ao norte pela Zona de Cisalhamento Lanchinha-Cubatão (destral), e pela Serra do Azeite (sinistral) (Faleiros *et al.*, 2011). A Zona de Cisalhamento Lanchinha-Cubatão faz limite entre o Terreno Curitiba e o Terreno Apiaí e a Serra do Azeite com o Terreno Luís Alves (Faleiros *et al.*, 2011).

O Terreno Curitiba é compreendido por ortognaisses migmatíticos de idade riaciana (ca. 2100-220 Ma) (Siga Júnior *et al.*, 2007) pertencentes ao Complexo Atuba, interpretado por Faleiros *et al.*, 2013 como faixa móvel paleoproterozoica que sofreu retrabalhamento no Neoproterozoico. Além disso, compõem o Terreno duas unidades supracrustais de idades de deposição máxima no Ectasiano (ca. 800-700 Ma), sendo a Formação Capiru de baixo grau metamórfico e a Formação Turvo-Cajati de médio a alto grau metamórfico (Faleiros & Pavan, 2013).

3.1.2 Formação Turvo-Cajati

A Sequência Turvo-Cajati foi definida por Silva & Algarte (1981a, b), passou a ser denominada de Complexo Turvo-Cajati (Vasconcelos *et al.*, 1999), e nos mapas recentes passou a ser formalmente denominada de Formação Turvo-Cajati (Perrota *et al.*, 2005). A formação foi dividida nas unidades litológicas cartografáveis, em escala 1:100.000, Unidade Paragnaissica, Unidade de Micaxisto e Unidade de Filito (Faleiros & Pavan, 2013).

A Unidade de Filito é formada por filito fino com laminação milimétrica composicional de origem sedimentar, possui xistosidade e clivagem ardósiana

anastomosadas com lineação de estiramento bem desenvolvida. A segunda unidade definida pelos autores é a Unidade de Micaxisto composta por micaxisto médio a grosso, formado por muscovita, quartzo, biotita e clorita, com porfiroblastos de granada, estaurolita e sillimanita. A estrutura é xistosidade, de origem milonítica, com bandamento variando de milimétrico a centimétrico alternando leitos ora mais micáceos, ora mais quartzosos. O contato entre as unidades de filito e de micaxisto é transicional (Faleiros & Pavan, 2013). A Unidade Paragnáissica está em contato tectônico com a Unidade de Micaxisto e é constituída por paragnasses e micaxistas grossos migmatíticos que possuem bandamento com alternância entre bandas mesocráticas, formados por biotita, sillimanita e granada, e leucossoma composto por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio.

Comumente ocorrem intercalações com rochas calciosilicáticas e mármores dolomíticos (Faleiros, 2008). O metamorfismo que as rochas da formação sofreram varia entre baixa temperatura e pressão, na Unidade de Filito, e com temperatura e pressão alta na Unidade Paragnáissica (Faleiros & Pavan, 2013).

O ambiente de deposição das rochas da Formação Turvo-Cajati foi de plataforma costeira rasa (Faleiros, 2008), e grãos detriticos de zircão apontam idade de deposição de ca. 900 Ma (Campanha *et al.*, 2009). Entretanto, dados U-Pb obtidos com LA-ICP- MS também em grãos de zircão detritico indicam idade máxima de deposição de 630-650 Ma (Faleiros *et al.*, 2016). A idade do metamorfismo é dada por datação U-Th-Pb em monazita metamórfica de 589 ± 12 Ma (Faleiros *et al.*, 2011) e idade U-Pb LA-ICP-MS em zircão metamórfico de 584 ± 4 Ma (Faleiros *et al.*, 2016).

Estudos de Dehler *et al.* (2000), na mesma região, reconhecem que os litotipos pertencentes à Formação Turvo-Cajati sofreram milonitização opervasiva. As lineações de estiramento e indicadores cinemáticos indicam, segundo eles, cinemática transtracional com componente extensional de topo para ESE, que está associada com componente direcional sinistral. A mudança de cianita para sillimanita nas rochas da formação evidencia história compressiva prévia ao evento transtracional e, por fim, o metamorfismo progressivo ocorreu com descompressão.

3.2 Geotermobarometria

Para a determinação das condições *P-T* do pico metamórfico das rochas das zonas metamórficas estudadas foi utilizada a técnica de geotermobarometria. Nessa técnica, utiliza-se a dependência que temperatura e pressão têm em relação à constante de equilíbrio (*K*) de uma reação entre os membros finais dos minerais da rocha. De acordo com Spear & Cheney (1989), a constante de equilíbrio (*K*) pode ser determinada através da composição química dos minerais coexistentes na rocha e,

assim, temperatura e pressão podem ser calculadas.

A geotermobarometria é baseada na equação fundamental da termodinâmica (Spear, 1993):

$$\Delta H - T\Delta S + (P-1)\Delta V + RT \ln K = 0$$

onde:

K : é a constante de equilíbrio de uma reação, determinada pela atividade dos membros-finais dos minerais, cuja composição é obtida na microssonda eletrônica;

ΔH : é a variação da entalpia da reação em relação a um estado padrão;

ΔS : é a variação da entropia da reação em relação a um estado padrão; ΔV : é a variação do volume molar das fases em relação a um estado padrão;

R : é a constante dos gases.

A constante de equilíbrio (K) é a razão entre as atividades dos membros-finais, seu valor representa o progresso das reações. Se $K=0$, a reação não se iniciou e quando ela está quase completa, $K \rightarrow \infty$ (Evans, 2004). A atividade de um mineral representa sua concentração termodinamicamente efetiva, relacionada com a abundância molar de cada fase. Em soluções sólidas a atividade do membro-final pode ser dada pela equação abaixo. Em fases minerais com solução sólida ideal, $\gamma=1$, porém quando a solução sólida não é ideal, o coeficiente dependerá da pressão e temperatura (Evans, 2004).

$$a_f^e = x_f^e \gamma_e^\alpha$$

onde:

aX_f^e : proporção molar de e em f

γ_e : coeficiente de atividade do membro final;

α : multiplicidade do sítio cristalográfico na substituição

A partir da petrografia, as fases minerais presentes no pico metamórfico são determinadas, suas composições químicas analisadas com a microssonda eletrônica e, com isso, é possível calcular a posição de equilíbrio de uma reação específica num diagrama $P-T$. A geotermobarometria convencional baseia-se no equilíbrio termodinâmico de reações específicas a partir da composição química de alguns dos minerais presentes na rocha (Powell & Holland, 2008). As reações podem ser dos tipos geotermômetros ou geobarômetros.

As reações do tipo geotermômetros são reações com variação significativa na entropia (ΔS) ou na entalpia (ΔH) e pequena variação no volume molar (ΔV). Isso se dá pois as substituições comuns nesse tipo de reação são entre cátions com raio

iônico similar e entre sítios cristalográficos de mesma coordenação. Essas reações têm pouca dependência da pressão e quando representadas em diagrama *P-T* apresentam-se como curvas com alta inclinação (Spear, 1993).

Já as reações do tipo geobarômetro têm comportamento inverso. Possuem grande variação de volume molar (ΔV) e alguma variação de entropia (ΔS) e entalpia (ΔH). A mudança no volume molar se dá por substituições catiônicas acopladas entre sítios cristalográficos de coordenação distintas entre si (Carswell, 1990). Essas reações possuem pouca dependência de temperatura e são representadas em diagramas *P-T* por curvas com pequena inclinação (Spear, 1993).

Para obter os valores de pressão e temperatura pela equação acima, faz-se necessário saber as variações de entalpia, entropia e volume das reações para então fazer a correlação entre *K* e temperatura ou pressão. Tendo a posição de duas reações adequadas, no ponto onde elas se cruzam, pode-se estabelecer as condições de pressão e temperatura do pico metamórfico (Spear, 1989). Para a determinação das condições de pressão e temperatura, os cálculos termobarométricos utilizam as variações de composição dos minerais que apresentam solução sólida e a relação entre a composição e a constante de equilíbrio é dada pelas atividades dos membros dos minerais envolvidos na reação metamórfica usada como barômetro ou termômetro (Powell & Holland, 1993).

Para a produção de termômetros e barômetros, existem três tipos de calibração: experimental, empírica e termodinâmica. Com as calibrações é possível montar fórmulas em que a relação entre as variações das composições químicas dos minerais seja estabelecida com pressão e temperatura (Spear, 1989).

O problema da geotermobarometria convencional é que ela é baseada em alguns pares de minerais, não leva em consideração toda a associação mineral do pico metamórfico e quando um termômetro e dois barômetros são usados, raramente as reações se cruzam em um único ponto. Além disso, uma mesma solução sólida pode ser tratada, do ponto de vista termodinâmico, de maneira diferente no geotermômetro em relação ao tratamento do geobarômetro. A geotermobarometria otimizada combina a informação de várias reações com suas correlações estatísticas para obter as condições *P-T* do pico metamórfico. Utilizando informações termodinâmicas dos membros-finais dos minerais envolvidos num grupo de reações linearmente independentes, a técnica utiliza o método dos mínimos quadrados para obter um resultado estatisticamente mais robusto (Powell & Holland, 1994). Além disso, para cada mineral um único modelo de atividade é aplicado, trazendo maior consistência ao tratamento dos dados (Powell & Holland, 1994).

O THERMOCALC é um programa que calcula o equilíbrio químico entre as fases minerais presentes no pico metamórfico de uma rocha examinada. O programa usa um

banco de dados termodinâmicos internamente consistente, resolvendo uma série de equações linearmente independentes, as quais usam todas as fases envolvidas (Powell *et al.*, 1998).

Os cálculos são baseados em um banco de dados termodinâmicos internamente consistentes, o que significa que independente da combinação linear escolhida entre as reações disponíveis, as informações termodinâmicas derivadas para as reações de interesses são estatisticamente as mesmas (Powell & Holland, 1988, 2008 e Holland & Powell, 2011).

3.3 Pseudosseções

Pseudosseções são mapas do campo de estabilidade das associações minerais possíveis de serem geradas durante o metamorfismo, dentro de uma dada janela $P-T$, e controladas pela composição da rocha (Powell *et al.*, 2005) ou pelo volume de equilíbrio ou composição efetiva (Stüwe, 1997; Guevara & Caddik, 2016). Os diagramas de fase apresentam informações úteis sobre as reações metamórficas, que podem ser usadas para delimitar as condições e o caminhamento $P-T$ da rocha. Porém, como as pseudosseções são calculadas a partir da composição de uma amostra, são representados apenas os segmentos de reações univariantes, ou sua respectiva faixa equivalente em sistemas químicos mais complexos, que a composição da rocha pode ‘ver’ (Powell *et al.*, 1998).

Com os campos di, tri, tetra ou de maior variância da pseudosseção e a análise das texturas presentes na amostra, pode-se inferir a trajetória $P-T$ (White *et al.*, 2007; Pavan, 2010). Nas pseudosseções de sistemas complexos, é possível traçar isopletas da variação química dos minerais ao longo dos campos e comparar com as variações químicas dos minerais da amostra estudada e inferir trajetórias $P-T$ e condições do pico metamórfico de forma precisa (Pavan, 2010).

A pseudosseção é composta por linhas e pontos que delimitam os campos onde determinadas associações minerais são estáveis (Pavan, 2010). As linhas representam os segmentos de reações metamórficas ou linhas em que a moda de um mineral chega à zero (Pavan, 2010). Para sua construção, deve-se partir de uma curva univariante, ou de limites de um campo com a menor variância possível, que represente a principal reação que a rocha cruzou e, a partir daí, seguir gradualmente para as demais associações com variância maior (Powell *et al.*, 1998). Com a pseudosseção calculada, o campo em que a paragênese observada na rocha é estável representa o pico metamórfico da mesma (Pavan, 2010). O cálculo da pseudosseção também ajuda a analisar a textura da rocha, podendo definir se uma fase faz parte da associação do pico ou se é retrometamórfica, ajudando a interpretar melhor a trajetória $P-T$ da rocha em estudo. Comparando os dados obtidos em geotermobarometria com as pseudosseções pode-se analisar a precisão de

ambos os métodos.

Por fim, podem-se traçar isopletas de razões catiônicas dos minerais, proporção e variação de membros finais na solução sólida, ou, ainda, isolinhas de variação modal ou de outras variáveis intensivas (Powell *et al.*, 2005). Em minerais com zonação química entre núcleo e borda, combinar essa informação com a química mineral obtida com microssonda permite traçar o caminhamento *P-T* que a rocha percorreu enquanto o mineral em questão crescia (Pavan, 2010).

As pseudosseções reúnem características dos métodos mais modernos da Petrologia Metamórfica, mas mesmo assim elas não são infalíveis, apresentando restrições de uso e mesmo na sua elaboração. Por exemplo, os cálculos são feitos considerando que a composição da rocha é constante em toda a janela *P-T* investigada, entretanto, quando uma rocha apresenta porfiroblastos, a porção da composição química da rocha que ficou “presa” dentro dos porfiroblastos deixa de fazer parte da porção reativa da rocha. Isso é especialmente importante quando os porfiroblastos apresentam grandes variações químicas entre centro e borda, indicando intenso fracionamento composicional ao longo do metamorfismo e implicando que a composição da rocha muda ao longo da evolução metamórfica (Pavan, 2010).

3.4 Gradiente Metamórfico de campo

Definido por Turner (1981), o gradiente metamórfico de campo é dado por condições de pressão e temperatura de uma sucessão de pontos em seção geológica na atual superfície de erosão. O formato da curva definida pelos pontos em gráfico *P vs. T* expressa a superfície dT/dP ($^{\circ}\text{C}/\text{kbar}$). Sendo uma linha partindo de qualquer ponto no gradiente extrapolado na superfície *P-T* que representa a média do gradiente geotérmico daquele ponto no mapa.

O gradiente metamórfico de campo busca determinar a variação do grau metamórfico na superfície atual exposta. Espera-se também, determinar a trajetória *P-T* de metamorfismo das rochas investigadas, desde seu soterramento, com o início do metamorfismo, até a sua exumação, passando pelo pico metamórfico e possíveis associações de retrometamorfismo. Segundo Bowen (1940), os efeitos das condições *P-T* sofridas pelas rochas presentes na atual superfície erosiva podem ser determinados tentando comparar isógradas mapeadas com curvas de calibrações univariantes equivalentes em uma grade petrogenética. Para isso, a primeira etapa trata-se de determinar as distribuições em campo das isógradas mapeadas (Turner, 1981), pois elas representam as reações calibradas experimentalmente de equilíbrios univariantes ou com maior variância. Em sequência, para determinação das trajetórias *P-T* são necessários

dados das condições $P-T$ do pico metamórfico e, se possível, de outras porções da trajetória, via geotermobarômetros padrões, para estabelecer o gradiente metamórfico de campo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Petrografia e análise microestrutural

Foram descritas vinte e três lâminas da Formação Turvo-Cajati, da Unidade de Micaxisto, cedidas pelo co-orientador do projeto, o Prof. Dr. Frederico Meira Faleiros. As descrições foram feitas utilizando microscópios petrográficos binoculares Olympus BXP 40, no Laboratório Didático de Microscopia Petrográfica (LDMP), do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP). Nas descrições, foram observadas características como proporção dos minerais, as relações texturais entre eles, com as foliações e as microestruturas do quartzo.

4.2 Química mineral

Foram feitas análises de química mineral de cinco lâminas representando as quatro paragêneses descritas em lâminas, sendo duas compostas por clorita + biotita + granada, uma composta por biotita + granada, uma composta por biotita + granada + estaurolita e duas compostas por biotita + granada + estaurolita + sillimanita. Foram analisados os minerais biotita, muscovita, plagioclásio, granada e estaurolita. As análises foram feitas no Laboratório de Microssonda Eletrônica do NAPGeoanalítica USP do IGc, utilizando-se microssonda eletrônica JEOL JXA-FE-8530. Em seguida, os dados obtidos foram tratados e as respectivas fórmulas químicas calculadas.

Foram feitos mapas compositionais dos elementos Mg, Fe, Ca e Mn para granadas das amostras DR039, DR206B, DR349B e SM528A, totalizando 10 grãos analisados. Essas imagens foram tratadas com o auxílio do programa ImageJ.

4.3 Termobarometria

Com as fórmulas químicas calculadas, as condições $P-T$ do metamorfismo foram determinadas com programa THERMOCALC (Holland & Powell, 2011) com o uso de termômetros e barômetros convencionais. Para os cálculos, foram analisados os mapas compositionais de granada, assim como as variações das composições dos outros minerais foram avaliadas para que a escolha de cada grão fosse a mais representativa possível da paragênese presente no pico metamórfico

4.4 Pseudosseções

Para a confecção das pseudosseções utilizou-se dados de química de rocha total da amostra DR-039 disponibilizada pelo Prof. Dr. Frederico Meira Faleiros. Já para a amostra DR-151B a composição de rocha total foi estimada a partir da química mineral obtida com a microssonda eletrônica e proporção modal dos minerais da petrografia. Nessa estimativa, utilizou-se o percentual descrito em petrografia de cada mineral da lâmina para multiplicar cada óxido da sua composição química para montar a composição da rocha total. Com isso, obteve-se o percentual estimado de cada um dos óxidos na composição final da rocha para cálculo da pseudosseção. O total calculado foi de 97%, sendo considerado os 3% restantes como fluidos, no caso, H₂O.

Os dados de química de rocha total foram então inseridos no programa THERMOCALC e foram calculadas as reações metamórficas e as diferentes paragêneses possíveis para os campos *P-T* distintos. Foram escolhidas essas 2 amostras por apresentarem composição química distintas, tanto em petrografia, quanto em percentual dos óxidos disponíveis. Para os cálculos foram usados a versão 3.40 do THERMOCALC e o banco de dados ds 62 atualizado em 6 de fevereiro de 2012.

Além disso, os dados foram inseridos no programa PERPLEX (Connolly, 1990) e foram obtidas as pseudosseções com esse software. Os resultados então foram comparados.

4.5 Confecção de mapa de isógradas

Com os dados de petrografia, foram obtidas as paragêneses distintas descritas na região de estudo e com sua distribuição espacial foi possível determinar as isógradas de aparecimento dos principais minerais índices na área de estudo.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1 Petrografia e Microtectônica

Foram descritas vinte e três lâminas pertencentes à Formação Turvo-Cajati e o resumo da composição modal destas, feita por estimativa visual, é apresentado na **Tabela 3** no **Anexo 10.2**. O mapa com a localização das lâminas encontra-se em anexo. Em uma segunda etapa de petrografia, foi observada a paragênese de mais quatro amostras com o objetivo de refinar a localização das isógradas, essas amostras, entretanto, não foram descritas. No total das duas etapas, foram observadas amostras com as paragêneses: clorita + biotita, biotita + granada, estaurolitita + biotita + granada, estaurolitita + biotita + granada + sillimanita, granada + biotita + sillimanita, sendo que a última não está descrita no presente trabalho. Quartzo e muscovita estão presentes em todas as lâminas. Um resumo com o

litotipo, a paragênese de cada amostra e a temperatura inferida por petrografia é apresentado na **Tabela 3.1** no **Anexo 10.2**.

6.1.1 Zona da biotita

Foram descritas seis lâminas com paragêneses pertencentes à zona da biotita. As rochas apresentam percentual médio entre 25 e 30% de quartzo, 25 e 30% de muscovita, ora prevalecendo quartzo sobre muscovita, ora ocorrendo o inverso. Além disso, duas amostras apresentaram plagioclásio em sua composição. Como outros minerais, as lâminas desse grupo se destacam por possuírem em torno de 15% de biotita e, quase todas lâminas, ocorre cerca de 10-15% de clorita, com exceção de uma amostra que não possui o mineral. Algumas amostras também se destacam pela presença de menos de 5% de epidoto, já em outras, o mineral não está presente. Os minerais opacos representam menos de 10% da rocha. A principal rocha observada é biotita – quartzo – muscovita xisto.

A rocha apresenta textura variando entre lepidogranoblástica e granolepidoblástica, de matriz fina a muito fina, composta de muscovita, quartzo, biotita (\pm clorita, plagioclásio, epidoto), localmente, há porfiroblastos grossos de minerais opacos. Minerais opacos de granulação fina, quando presentes, estão orientados na foliação Sn. Variações composticionais e de granulometria são observadas quando S_0 está parcialmente preservado, sendo notado por diferenças nas concentrações de quartzo e muscovita. Nas lâminas ricas em quartzo a granulação é média, e é comum observar contatos semi-poligonizados, próximos a 120°, atribuídos à recristalização estática.

Há diferenças microestruturais entre as lâminas, em alguns casos, podem-se observar três fases de deformação, sendo elas Sn-1, Sn, e Sn+1. Em geral, todas apresentam crescimento das principais fases minerais. A Sn-1 é menos visível, marcada pelos filossilicatos, sendo indicada por dobras intrafoliaias dentro da Sn (**Figura 4** no **Anexo 10.1**). A Sn+1 apresenta-se na forma de crenulação que afeta Sn e pode ser vista a olho nu. Entretanto, a regra de estrutura na unidade é a presença de apenas uma foliação Sn, onde todos os minerais crescem, sendo possível, às vezes distinguir Sn-1. Os porfiroblastos de minerais opacos apresentam-se pré-cinemáticos em relação à Sn em todos os casos observados.

Por fim, os grãos de quartzo apresentam sinais de recristalização dinâmica, tais como rotação de sub-grãos (SGR) e migração de bordas de grãos (GBM), entretanto, em várias amostras não existem microestruturas de deformação nos grãos de quartzo.

6.1.2 Zona da granada com clorita

Foram descritas quatro amostras da zona da granada com clorita, sendo a

paragênese granada + biotita + clorita comum a todas elas. Nas lâminas examinadas as quantidades percentuais de muscovita são baixas, menores que 10%, enquanto os percentuais de quartzo e biotita são em torno dos 25 a 30%. Destaca-se, de mesmo modo, a presença de grande quantidade de plagioclásio, próxima dos 20%. Granada ocorre em todas as lâminas, sempre abaixo de 10%, clorita também ocorre em quantidades entre 5% e 10%. Por fim, essas lâminas podem ou não conter minerais opacos.

As amostras apresentam textura lepidogranoblástica na matriz, geralmente fina a fina-média, com porfiroblastos médios de granada (~2mm) em metade das lâminas. Nas demais amostras, os grãos de granada ocorrem ligeiramente mais grossos que a matriz, entretanto não podem ser chamados de porfiroblastos. Em uma amostra, pode-se ver a granada mimetizando a biotita (**Figura 5** no **Anexo 10.1**).

A Sn é marcada por alinhamento dos grãos de biotita. Os grãos de granada são de pré a sin-cinemáticos em relação à Sn, sendo possível em alguns casos observar inclusões de quartzo preservando a Sn-1. Há S_n crescendo paralela a S_0 . Não há um padrão único de recristalização dinâmica nos grãos de quartzo, ora ocorrendo *bulging* (BLG), ora migração de borda de grãos (GBM).

6.1.3 Zona da granada sem clorita

Foram descritas oito amostras com a paragênese granada+biotita. Essas amostras diferem-se das amostras com clorita, não somente pela ausência desse mineral, mas também pelos percentuais de muscovita, que são mais altos, em torno de 30%. A quantidade de quartzo é de 30% e de 20% de plagioclásio. Os percentuais de biotita e granada variam entre as lâminas, entretanto, em todas elas, esses minerais podem ser observados. Minerais opacos podem ou não ocorrer.

Na textura da rocha há alternância entre bandas lepidoblásticas e granoblástica, com matriz fina a fina-média e porfiroblastos grossos de granada, variando de tamanho entre as amostras. As amostras possuem três fases de deformação, ora com predomínio de Sn e Sn-1, ora Sn e Sn+1, sendo comum observar as três fases de deformação na mesma amostra. A Sn é marcada pelo crescimento de minerais placóides, mas localmente, pode ocorrer por alinhamento de grãos de quartzo e plagioclásio.

Os porfiroblastos de granada são sin- a pós-cinemáticos em relação à Sn-1, sendo comum a preservação da foliação anterior em inclusões nos grãos de granada. Em relação à Sn, esses grãos são pré a sin-cinemáticos (**Figuras 6 e 7** no **Anexo 10.1**) sendo comum observar rotação dos grãos de granada, a Sn contorna os porfiroblastos, indicando que a presença do mesmo é prévia em relação à formação da Sn. Em um caso, pode-se observar grãos de minerais opacos truncando a Sn, indicando sua formação pós-cinemática em relação à Sn. Em alguns casos, podem ser observadas feições que indicam cisalhamento

como, por exemplo, *mica fish* e pares SC na matriz (**Figuras 8 e 9 no Anexo 10.1**).

Novamente, não se observa padrão entre recristalização dinâmica em grãos de quartzo das diferentes amostras estudadas neste grupo, ora pode ocorrer BLG, ora SGR, ora GBM. Entretanto, algum tipo de recristalização dinâmica ocorre nos grãos de quartzo de todas as amostras.

6.1.4 Zona da estaurolita

Foram descritas duas amostras pertencentes à essa zona metamórfica, sendo que a paragênese estaurolita + biotita + granada é comum a todas as amostras. As rochas são compostas por cerca de 25-30% de muscovita, 15-20% de quartzo, além de 10-20% de biotita. Plagioclásio ora ocorre com percentual de 15%, ora não ocorre. Além disso, granada e estaurolita ocorrem nas amostras com moda inferior a 10%. Minerais opacos ocorrem em menos de 4% da rocha.

A rocha apresenta textura granolepidoblástica e porfiroblástica, variando entre fina e muito-fina, composta por bandas com domínio de filossilicatos e outras compostas por quartzo e plagioclásio. Há porfiroblastos que variam entre médio-grossos a muito grossos de granada e estaurolita.

Podem ser observadas entre duas e três fases de deformação nas lâminas, com domínio de Sn e a Sn-1, e amostras em que a Sn+1 ocorre bem desenvolvida. A foliação Sn é definida pela orientação de muscovita e biotita, em algumas amostras ocorrem dobras que afetam Sn, e que geraram a foliação Sn+1, mas que nem sempre está bem desenvolvida. A Sn acomoda-se em torno dos grãos de granada e estaurolita, classificando-os como pré-cinemáticos. Em alguns casos, a Sn-1 pode ser observada preservada em inclusões de quartzo ou de minerais opacos dentro dos porfiroblastos de granada e, nestes casos, a foliação interna da granada não apresenta continuidade com a foliação externa. Principalmente nos grãos de estaurolita, a relação entre Sn e o grão não permite classificá-lo como pré-cinemático, portanto podem variar de pré a sin-cinemáticos.

Por fim, podem ser observadas feições de recristalização dinâmica nos grãos de quartzo, variando de *bulginga* rotação de sub-grãos.

6.1.5 Zona da sillimanita com estaurolita

A sillimanita pode ser observada em três amostras entre as lâminas descritas. Nelas, muscovita ocorre com percentual de 30%, acompanhada de 25% de quartzo, além de 15% de biotita e cerca de 5% de plagioclásio, isso confere à rocha textura granolepidoblástica com intercalação entre bandas lepidoblásticas, na forma de matriz fina de filossilicatos, e granoblástica, com predomínio de quartzo e plagioclásio. A rocha possui, ainda, em torno de

7% de granada e estaurolita dispostos na forma de porfiroblastos médios. A sillimanita é observada na matriz, como aglomerados de agulhas, caracterizando-a como fibrolita, geralmente associada à biotita (**Figuras 10,11 e 12 no Anexo 10.1**).

A Sn está definida pela orientação de biotita e muscovita e é truncada por porfiroblastos sin-cinemáticos de estaurolita e pré- a sin-cinemáticos de granada, oraobservando continuidade da foliação externa Sn nos porfiroblastos, ora apresentando rotação do grão. Em alguns grãos de granada, pode-se observar foliação interna sem continuidade com a foliação externa Sn, o que indica ser Sn-1. Pode-se, ainda, observar crenulação a Sn+1, que afeta Sn na forma de crenulações abertas com charneira arredondada. Por fim, observam-se texturas tipo *bulging* e rotação de sub-grãos em grãos de quartzo, indicando a ação da recristalização dinâmica.

6.2 Química Mineral

6.2.1 Considerações gerais e condições analíticas

Foram escolhidas cinco amostras da Formação Turvo-Cajati para análise de química mineral e posterior cálculo de geotermobarometria. Dentre as amostras descritas em petrografia, foram escolhidas representantes das principais paragêneses presentes para obter-se diferentes cálculos *P-T*, e com a inferência das trajetórias *P-T*, o gradiente metamórfico de campo. Portanto, foram escolhidas duas amostras com a paragênese biotita + clorita + granada (DR-039 e DR-396), uma com biotita + granada (SM-528) e duas com sillimanita + granada + estaurolita (DR-151B e DR-349B).

As análises de química mineral foram feitas no Laboratório de Microssonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), utilizando a microssonda do tipo JEOL, modelo JXA-FE-8530. Os procedimentos foram conduzidos sob voltagem de 15kV e corrente elétrica de 20nA, com diâmetro de 5 µm para todos os minerais analisados. Os parâmetros e padrões utilizados estão apresentados na **Tabela 4 no ANEXO**

Foram escolhidos cristais com menores sinais de alteração e, para os minerais ferromagnesianos,os porfiroblastos selecionados para análises apresentam poucas inclusões, para a obtenção de dados químicos que não tenham interferência de possíveis trocas tardias. Nos grãos de granada, estaurolita e alguns de plagioclásio foram feitos perfis para observar a variação dos teores dos elementos da borda para o núcleo de cada cristal. Foram feitos, em média, dez pontos em cada grão de granada analisado, seis pontos em cada grão de estaurolita e três ou quatro pontos nos grãos de plagioclásio. Nos grãos de biotita, muscovita, clorita e em alguns grãos mais finos de plagioclásio foram feitas análises pontuais. Em cada amostra, foram analisados entre dois e três grãos de granada, em torno de quatro grãos de estaurolita e uma média de dez a quinze análises de filossilicatos,

quando possível. Quanto aos grãos de plagioclásio, quando feitos perfis, foram feitos entre cinco e seis grãos com três ou quatro pontos cada, quando feitas análises pontuais, foram feitas cerca de quinze análises por lâmina.

Foram feitos mapas compostionais de cristais de granada com os elementos Fe, Mg, Ca, Al e Mn. Os grãos mapeados foram os mesmos analisados através dos perfis acima mencionados, totalizando oito mapas distribuídos em quatro amostras analisadas. Os procedimentos foram feitos utilizando voltagem de 15 kV e corrente de 150 nA.

Os cálculos das fórmulas estruturais apresentados foram feitos com o auxílio dos programas AX e Excel 2007. As tabelas detalhando as análises químicas obtidas na microssonda eletrônica, as fórmulas estruturais e membros finais estão apresentados no final do relatório nas **Tabelas 13 a 42** nos **Anexo 10.2**.

6.2.2 Granada

A granada é um nesossilicato e muito importante nas rochas metamórficas por distribuir-se amplamente no campo *P-T*, e em diversos tipos de rochas. Nos metapelitos, seu aparecimento marca a zona da granada, formada pela reação contínua clorita + muscovita = granada + biotita + quartzo + H₂O (Spear & Cheney, 1989). Como sua distribuição é ampla na janela *P-T*, ocorre mudança composicional de forma sistemática, a qual é dependente de pressão e/ou temperatura, fazendo da granada um mineral importante para o cálculo das variáveis *P-T* do metamorfismo (Deer *et al.*, 1982).

Sua fórmula química fundamental é X₃Y₂Si₃O₁₂, em estrutura em que tetraedros de SiO₄ compartilham vértices com os octaedros de YO₆. O sítio Y pode ser ocupado por cátions trivalentes como Fe, Al, Cr, formando uma rede tridimensional. No interior dessa rede, existem sítios(X) de coordenação 12, preenchidos por cátions divalentes, principalmente Fe, Mg, Mn, Ca, e tendo oito oxigênios compartilhados. Como podem ocorrer diferentes formas de preenchimento dos sítios X e Y, podem ocorrer diferentes membros-finais. Assumindo o preenchimento do sítio Y por Al e variando apenas o sítio X, os membros-finais: almandina (Fe₃Al₂Si₃O₁₂), piropo (Mg₃Al₂Si₃O₁₂), espessartita (Mn₃Al₂Si₃O₁₂) e grossulária (Ca₃Al₂Si₃O₁₂) formam a série da piraspita. Fixando-se o sítio X com o preenchimento por Ca e variando o sítio Y, os membros finais: andradita (Ca₃Fe₂Si₃O₁₂), uvarovita (Ca₃Cr₂Si₃O₁₂) e grossulária (Ca₃Al₂Si₃O₁₂) formam a série ugrandita e a sua ocorrência é restrita (Deer *et al.* 1982).

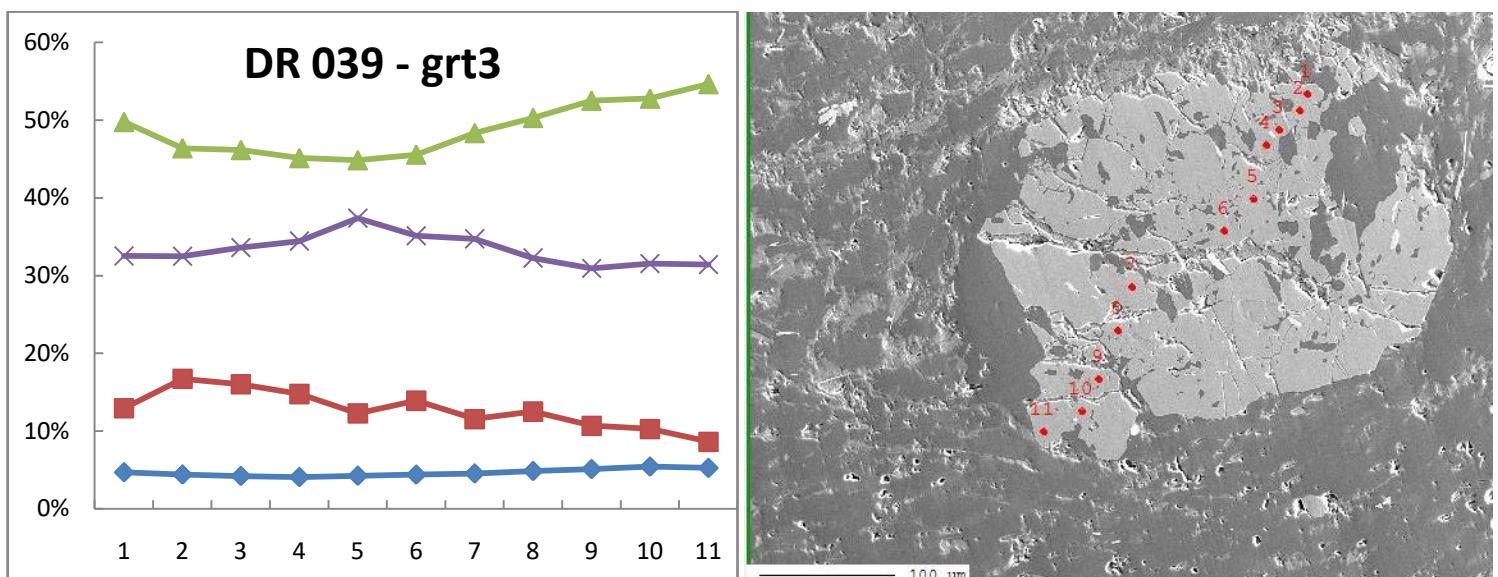
Granada ocorre em todas as amostras analisadas na forma de porfiroblastos de granolumetria média a grossa, geralmente ocorrendo pré- a sin-cinematicamente em relação à foliação principal Sn. Os porfiroblastos ocorrem em equilíbrio textural com os minerais da lâmina, que estão relacionados ao pico metamórfico. Na **Tabela 5** do **Anexo 10.2** as médias

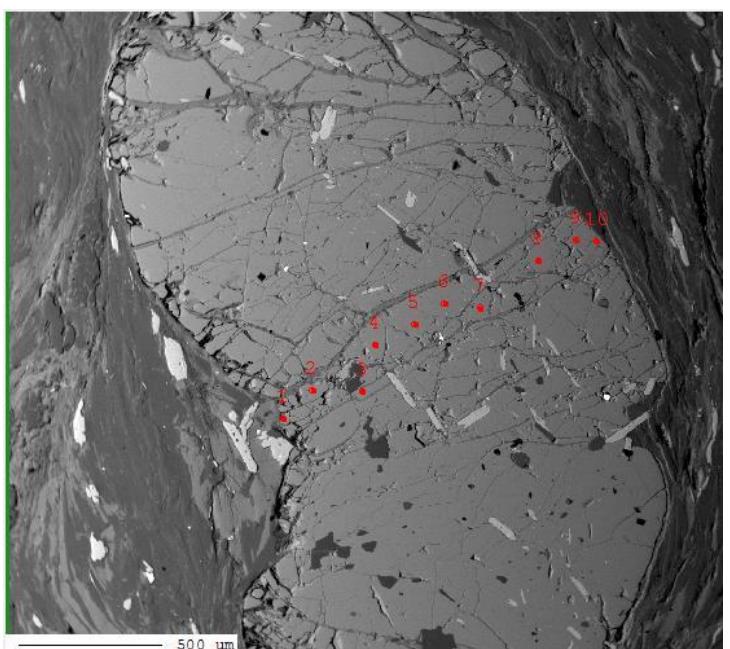
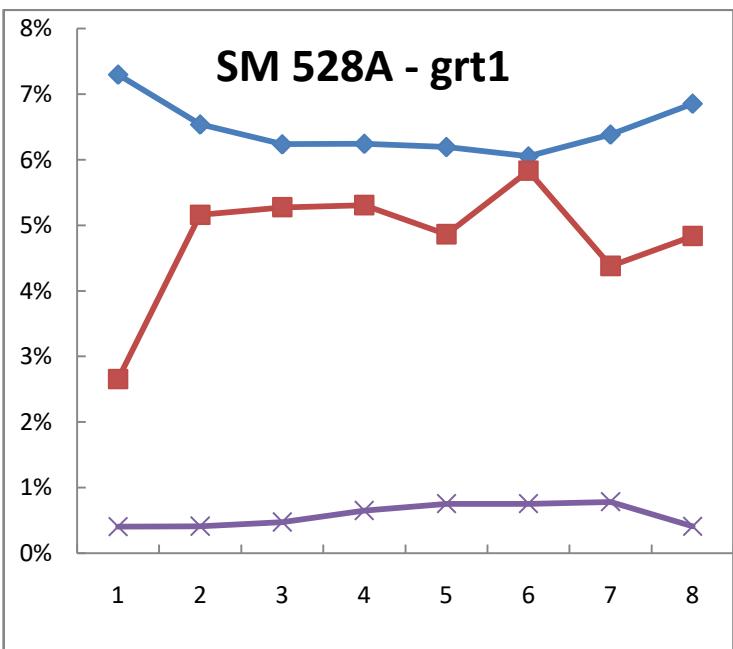
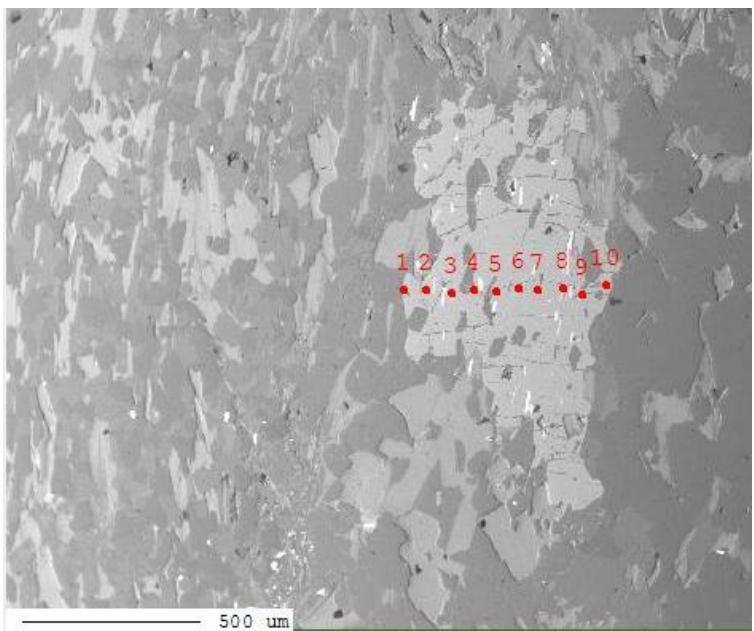
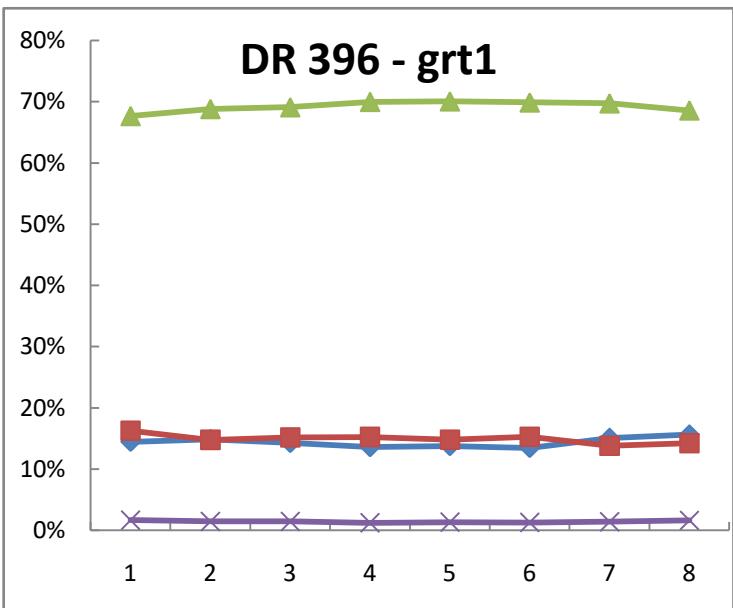
das fórmulas estruturais e proporções moleculares para os grãos de granada de cada amostra analisada são apresentadas.

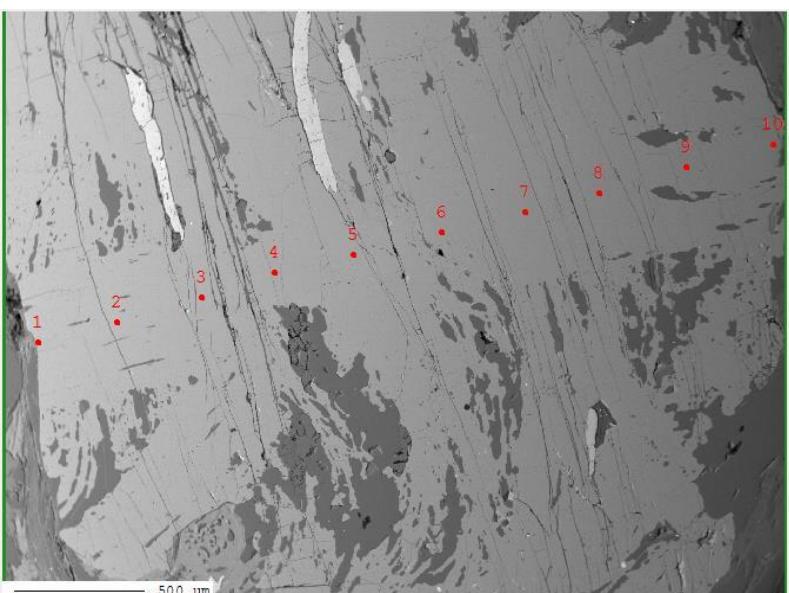
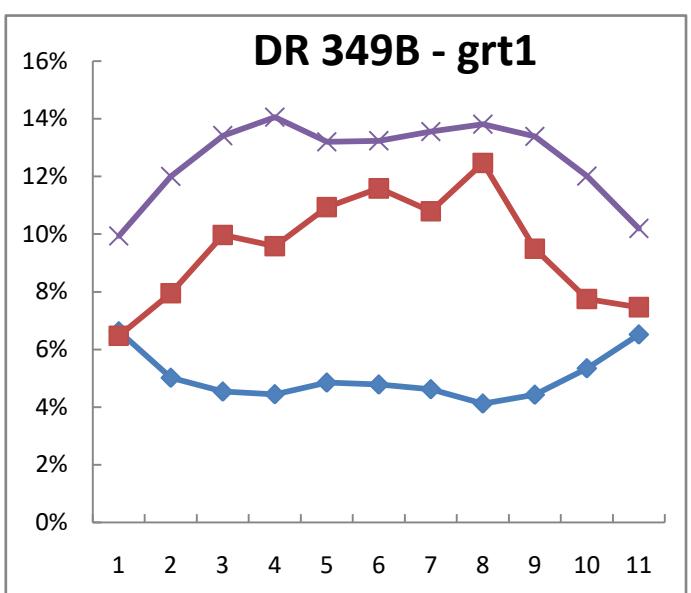
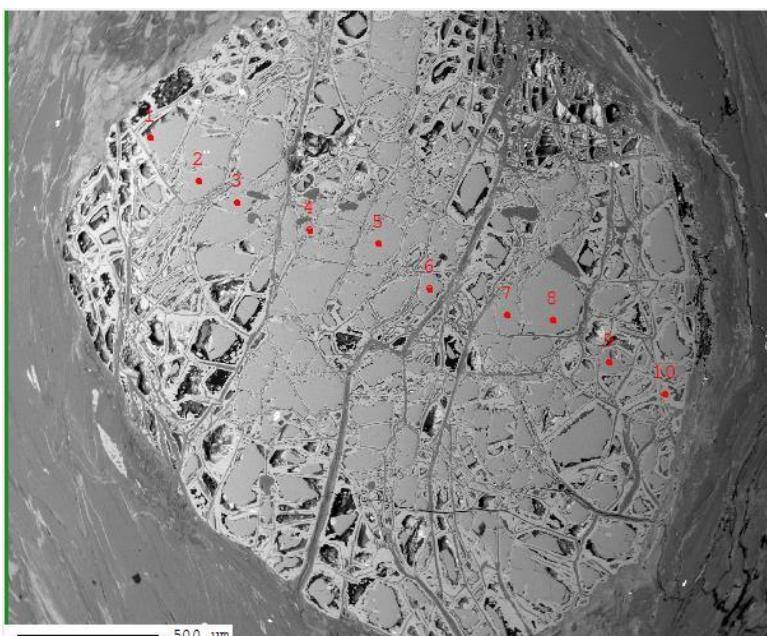
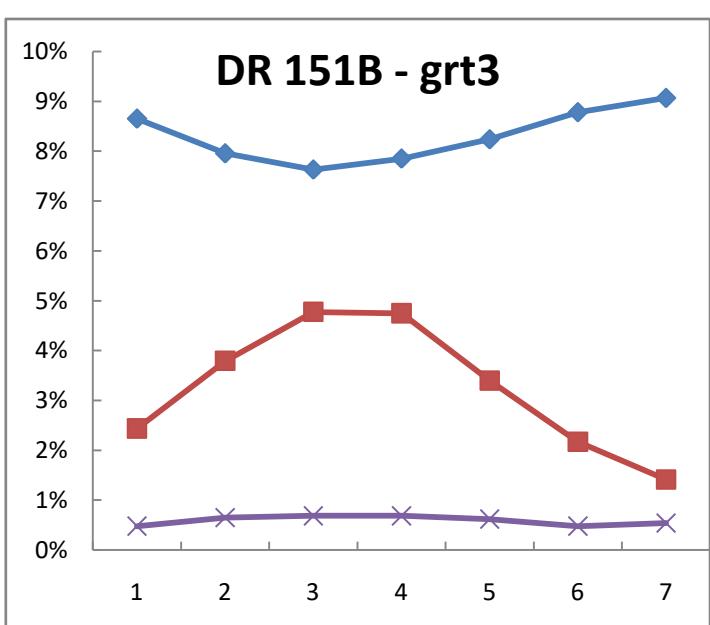
A composição é dominada pela almandina, sempre superior a 65% em todos os grãos analisados, a qual é seguida por piropo e grossulária. Em geral, há valores baixos de espessartita, entre 1,5 e 3%. Entretanto, há alguns grãos com maiores concentrações de Mn, com valores de espessartita que chegam a 37%. Esses grãos são os maiores e podem atingir mais de 2 centímetros. Suas moléculas de piropo e grossulária são menos expressivas, com valores que não atingem mais que 12%.

A molécula de andradita segue os padrões de espessartita, onde há valores expressivos de espessartita, os valores de andradita são maiores também, variando entre 1,5% até 7,5%. Onde espessartita ocorre em menor quantidade, os valores de andradita são pouco significativos, menores que 0,5%. Uvarovita é sempre pouco expressiva, chegando, no máximo a 0,30%.

Em análise preliminar, como pode ser observado nos gráficos apresentados nas **Figuras 13 A-E**, via de regra, os teores de almandina aumentam em direção às bordas dos grãos, sendo única exceção feita à seção DR396, em que os três grãos analisados apresentam decréscimo dos teores de almandina em direção às bordas. Padrão similar de aumento de teor nas bordas pode ser observado na molécula de piropo. Já para as moléculas de grossulária e espessartita, os grãos de granada apresentam comportamento inverso, com diminuição dos teores em direção às bordas dos grãos analisados.







Legenda

- ◆ Piropo
- Grossulária
- ▲ Almandina
- ✖ Espessartita

Figuras 13 A-E: Gráficos com a variação dos diferentes membros-finais em grãos representativos das granadas analisadas em Microssonda Eletrônica. O eixo X representa o ponto e o eixo Y, a variação em porcentagem de cada molécula. Uvarovita e Andradita foram excluídas por não apresentar valores significativos para sua representação. Ao lado, apresentam-se seções aproximadas das localizações dos pontos analisados em cada grão de granada.

6.2.3 Muscovita

A muscovita pertence à sub-classe dos filossilicatos cuja característica principal é sua estrutura formada por intercalação de uma folha de sítios de coordenação octaédrica entre duas folhas de sítios de coordenação tetraédrica (T-O-T), conectadas entre si por cátions (Fleet, 2003). A fórmula estrutural é $AR_2\Box_1T_4O_{10}X_2$, na qual:

A: cátion entre as camadas (K, Na, Ca, Ba, Cs, NH_4)

R: sítio octaédrico (Al, Mg, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Li, Ti, Mn, Cr, V, Na)

\Box : vacância na camada octaédrica

T: sítio tetraédrico (Si, Al, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Be, B)

O: oxigênio

X: ânion não ligado aos tetraedros (OH, F, Cl, O, S)

Na **Tabela 6 no Anexo 9.2**, observam-se as proporções catiônicas obtidas após os cálculos da fórmula estrutural de alguns grãos. Para esse cálculo, foram considerados 11 oxigênios. Para a amostra DR-039, a fórmula média obtida foi $K_{0,947}Na_{0,045}Ca_{0,002}Fe^{2+}_{0,118}Mg_{0,081}Mn_{0,001}Al_{2,791}Si_{3,042}O_{11}(OH)$, para a amostra SM528A foi obtida $K_{0,766}Na_{0,2001}Ca_{0,001}Fe^{2+}_{0,061}Mg_{0,040}Al_{2,901}Si_{3,009}O_{11}(OH)$, para a amostra DR151B foi $K_{0,775}Na_{0,187}Mg_{0,041}Al_{2,894}Si_{3,022}O_{11}(OH)$, por fim para a amostra DR349B obteve-se $K_{0,853}Na_{0,126}Fe^{2+}_{0,065}Mg_{0,054}Al_{2,876}Si_{3,007}O_{11}(OH)$.

Na relação Fe x Mg nos grãos de muscovita analisados, observa-se dispersão maior na amostra DR039, em contraste com as demais cuja dispersão é restrita (**Figura 14**).

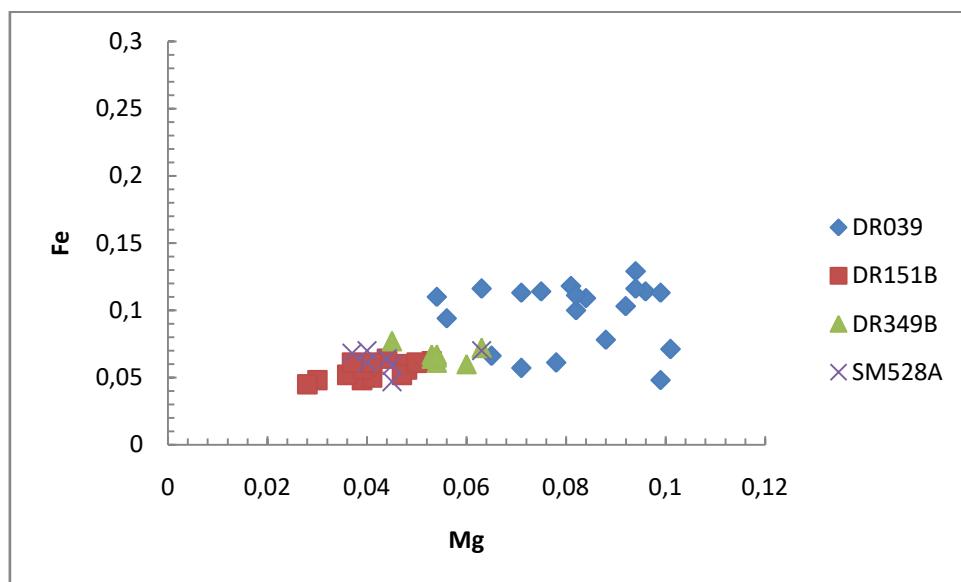


Figura 14: Relação entre Fe x Mg nos grãos de muscovita analisados.

6.2.4 Biotita

A biotita é um filossilicato e sua estrutura é similar à da muscovita, com intercalação entre 2 folhas tetraédricas com uma folha octaédrica, a conexão entre as folhas é feita por um cátion. Entretanto, na biotita não há vacância nos sítios octaédricos, o que a permite

denominá-la detrioctaédrica. Portanto sua fórmula estrutural é $AR_3T_4O_{10}X_2$, onde:

A: cátion entre as camadas (K, Na, Ca, Ba, Cs, NH_4^+);

R: sítio octaédrico (Al, Mg, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Li, Ti, Mn, Cr, V, Na);

T: cátions tetaédricos (Si, Al, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Be, B);

O: oxigênio;

X: ânion não ligado aos tetraedros (OH, F, Cl, O, S).

Avariação de composição ocorre entre os membros finais annita ($KFe_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$) – flogopita ($KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$), siderofilita ($K(Fe_2Al)(Al_2Si_2O_{10})(OH)_2$) e eastonita ($K(Mg_2Al)(Al_2Si_2O_{10})(OH)_2$).

Na **Tabela 7 do Anexo 10.2**, as proporções catiônicas obtidas após o cálculo de fórmula estrutural são apresentadas, na base anidra e dezenze oxigênios. Para a amostra DR039 foi obtida a fórmula estrutural $K_{0,932}Na_{0,009}Ca_{0,006}Fe^{2+}_{1,702}Mg_{1,020}Mn_{0,002}Al_{1,702}Si_{2,647}O_{11}(OH)$, para a amostra DR396 foi obtida a fórmula estrutural $K_{0,980}Na_{0,009}Ca_{0,007}Fe^{2+}_{1,231}Mg_{1,095}Mn_{0,018}Al_{1,604}Si_{2,690}O_{11}(OH)$. Para a amostra SM528A foi obtida $K_{0,910}Na_{0,011}Ca_{0,002}Fe^{2+}_{1,542}Mg_{0,722}Mn_{0,009}Al_{1,810}Si_{2,668}O_{11}(OH)$, para a amostra DR151B, obteve-se $K_{0,911}Na_{0,018}Fe^{2+}_{1,495}Mg_{0,796}Mn_{0,003}Al_{1,849}Si_{2,631}O_{11}(OH)$. Por fim, para a amostra DR349B foi obtida a fórmula estrutural $K_{0,921}Na_{0,017}Ca_{0,003}Fe^{2+}_{1,545}Mg_{0,791}Mn_{0,002}Al_{1,770}Si_{2,608}O_{11}(OH)$.

A relação entre Fe e Mg nos grãos de biotita analisados indica duas aglomerações, uma entre as amostras DR039 e DR396 e outra entre as demais amostras. Além disso, pode-se observar maior dispersão nos dados das amostras DR039 e DR396 do que nas demais (**Figura 15**).

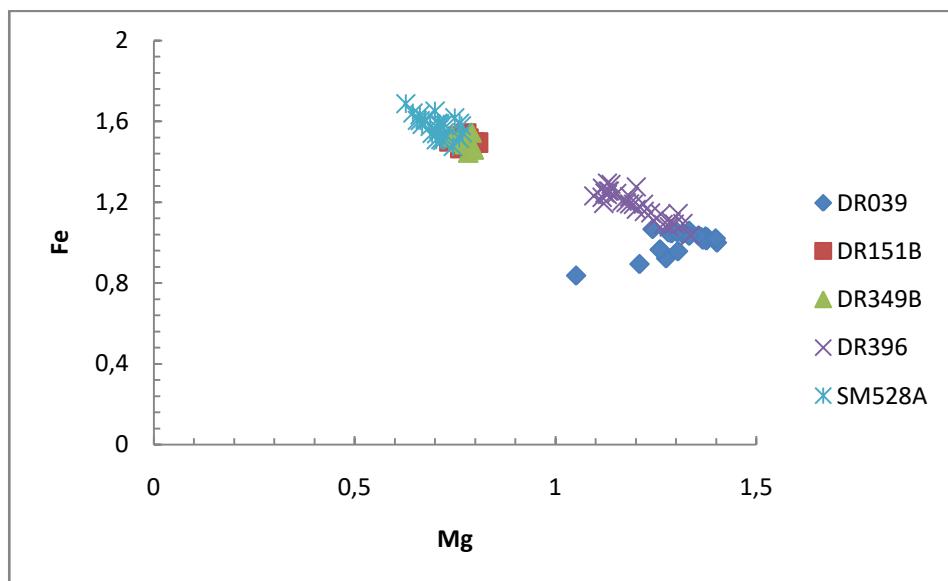


Figura 15: Relação entre Fe x Mg nos grãos de biotita analisados.

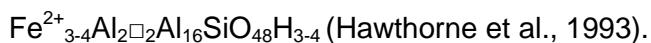
6.2.5 Clorita

A clorita também pertence à sub-classe dos filossilicatos, sendo considerada de estrutura complexa pela intercalação entre folhas tetraédricas e octaédricas. Essa intercalação se dá entre dois grupos de folhas tetraédricas com uma folha octaédrica no meio, separadas entre si por uma folha octaédrica (T-O-T O T-O-T). A sua fórmula estrutural envolve solução sólida com 4 principais membros-finais: clinocloro: $Mg_5 Al (AlSi_3) O_{10}(OH_8)$, chamosita: $Fe_5 Al (AlSi_3) O_{10}(OH_8)$, nimita: $(NiAl)_6 (AlSi_4)O_{10}(OH_8)$ e pennantita: $(Mn_5Al) (AlSi_3)O_{10}(OH_8)$ e não há cátion entre camadas, como na muscovita e na biotita e assim não é considerada uma mica.

Nas amostras com clorita, foram calculadas as proporções catiônicas desse mineral com 14 oxigênios em sua estrutura. Os dados estão apresentados na **Tabela 8** do Anexo 9.2. Para a amostra DR039 foi obtida a fórmula estrutural $Fe^{2+}_{2,400} Mg_{2,133}Al_{2,837} Si_{2,563} O_{14} OH_8$, já para a amostra DR396 obteve-se $Fe^{2+}_{1,997} Mg_{2,535} Al_{2,573} Si_{2,686} O_{14} OH_8$.

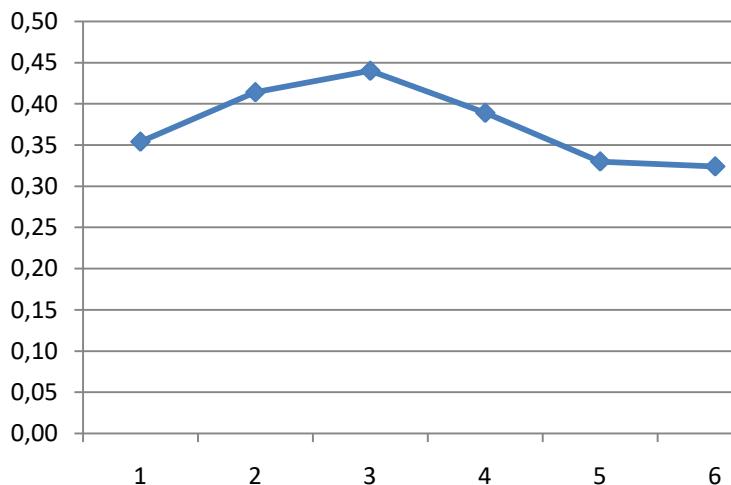
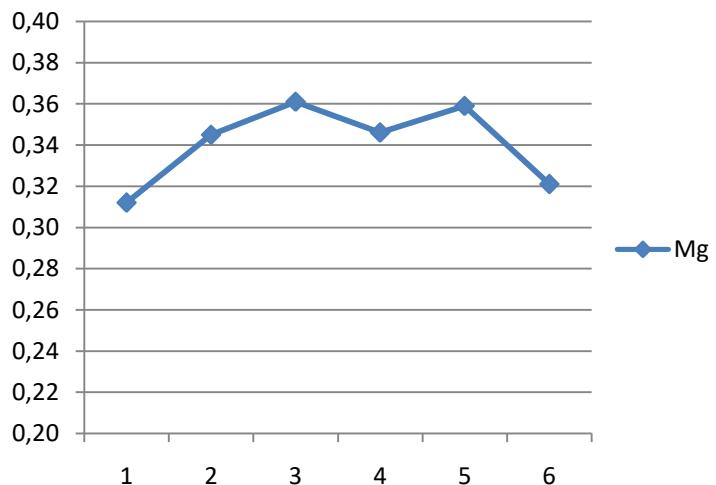
6.2.6 Estaurolita

A estaurolita é um mineral muito importante no estudo dos metapelitos, pois seu aparecimento na paragênese marca o início da fácie anfibolito. O mineral é um nesossilicato e possui estrutura complexa, pois pode haver variação na quantidade de hidrogênio na sua fórmula, devido às substituições acopladas que podem ocorrer e a grande variedade de ocupação dos sítios catiônicos por diferentes elementos (Holdaway, 2004). A fórmula estrutural com base em 48 oxigênios é:



Entretanto, Holdaway et al. (1986) defendem que o cálculo da fórmula estrutural deve ser feito fixando-se o número de oxigênios ou da soma de Al+Si, de acordo com a paragênese em equilíbrio do sistema. Como a determinação de H e Li não é possível de ser feita na microssonda eletrônica, o número de oxigênios foi fixo em 46. A **Tabela 9** do Anexo 9.2 possui alguns das fórmulas de borda e núcleo obtidos. Como pode ser observado nas **Figuras 16 A-B**, há uma variação de Mg ao longo dos grãos de estaurolita, com aumento da proporção catiônica do elemento no núcleo dos grãos.

Para a amostra DR-349B obteve-se fórmula química $(Fe^{2+}_{3,113}Mg_{0,330}Mn_{0,008} Ca_{0,007}) Al_{17,963}Si_{7,672}O_{46}(OH)_4$. Já para a amostra DR-151B obteve-se a fórmula química $(Fe^{2+}_{3,355}Mg_{0,312}Mn_{0,012}Ca_{0,010}) Al_{17,921}Si_{7,575}O_{48}(OH)_4$.

DR 349B - st1**DR 151B - st2.2****Figura 16 A-B:** Variação de X_{Mg} na proporção catiônica ao longo de perfil em grãos de estaurolita.

6.2.7 Plagioclásio

A série do plagioclásio ocorre nos feldspatos, tectossilicatos, cuja composição química estrutural é MT_4O_8 , em que:

T: sítio tetraédrico (Si e Al)

M: sítio octaédrico (K, Na, Ca, Rb, Sr, Ba)

O: oxigênio

A série do plagioclásio é caracterizada pela substituição de Na^+ por Ca^{2+} , através da substituição acoplada $\text{Na}^+ + \text{Si}^{4+} = \text{Ca}^{2+} + \text{Al}^{3+}$, e formando soluções sólidas. A série é composta pelos membros finais albita e anortita, sendo o primeiro sódico ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_8$), enquanto a anortita é o extremo cálcico ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).

Foram calculadas as fórmulas estruturais de plagioclásio para 8 oxigênios e o resultado está apresentado na **Tabela 10** no **Anexo 9.2**. As amostras na zona da granada, com clorita presente, apresentam teores de anortita entre 40 e 42. Nas amostras em que clorita não está presente há diminuição no teor de anortita, menor que 15. A fórmula estrutural calculada para uma análise da amostra SM528A foi $(\text{K}_{0,009}\text{Na}_{0,898}\text{Ca}_{0,095})(\text{Al}_{1,128}\text{Si}_{2,874})\text{O}_8$. Já para a amostra DR151B foi obtida a fórmula $(\text{K}_{0,003}\text{Na}_{0,986}\text{Ca}_{0,017})(\text{Al}_{1,035}\text{Si}_{2,957})\text{O}_8$.

A composição do plagioclásio das amostras DR039 e DR396 apresenta quantidade muito elevada de anortita, o que pode indicar que são grãos detriticos não equilibrados durante o metamorfismo. Para as amostras SM528A e DR151B foram feitos perfis de teor de An, que pode-se perceber que apresentam dois padrões ora com aumento de An em direção às bordas, praticamente constante e com valores que estão entre An9 e An11 na

amostra SM528A e entre An1 e An 3 para a amostra DR151B.

6.3 Mapas Composicionais

Mapas compostionais dos elementos Mn, Ca, Fe e Mg de dez grãos de granada de quatro amostras da Formação Turvo-Cajati foram obtidos com detectores WDS da microssonda eletrônica. Eles estão apresentados na seção 10.1 Anexo de Imagens (**Figuras 17-26A-D**). Nos mapas compostionais, os tons mais claros indicam maior quantidade do elemento em análise.

Em geral, os mapas podem ser comparados aos perfis apresentados na **Seção 6.2.1** nas **Figuras 13 A-E**. Os mapas possuem maior detalhamento da variação dos elementos na extensão do grão. Nos cristais de granada estudados, Fe e Mg mostram-se com maiores concentrações nas bordas, enquanto Ca e Mn apresentam maiores quantidades nos núcleos.

Alguns elementos apresentam pulsos de incorporação na granada com padrão bem definido nos mapas, esses padrões estão mais bem marcados com Mn e Ca (**Figuras 20 A-B**). Os cristais da amostra DR039, cujo metamorfismo deu-se em temperatura mais baixa, são pequenos e o zonamento de elementos, pouco desenvolvido, incluindo baixas concentrações de Mg.

6.4 Termobarometria

Foram feitos cálculos de pressão e temperatura para as mesmas cinco amostras cujos minerais foram analisados em microssonda. Nos cálculos foram considerados os principais minerais envolvidos na paragênese da rocha, dentre esses, escolheu-se as melhores análises e dos cristais de granada, as mais próximas das bordas.

Para a amostra DR039, cuja paragênese é composta por clorita, biotita, granada, muscovita, quartzo e água, obteve-se pico metamórfico em 524 ± 13 °C e pressão $3,76 \pm 1,61$ kbar. Esse resultado apresenta pressão inferior àquela calculada nas demais amostras, como é apresentado a seguir. Neste caso, optou-se por considerar o plagioclásio como detritico devido seu teor de An ser alto (próximo de An₄₅), além disso, ao incorporar apenas essa fase nos cálculos, o programa não obtém conjunto mínimo de reações linearmente independentes. A falta de análises de epidoto pode ter comprometido os cálculos, mas nenhuma análise feita com estequiometria satisfatória para ser usada.

Para a amostra DR396, cuja paragênese é composta de biotita, clorita, granada, muscovita, plagioclásio e água, obteve-se temperatura de 580 ± 8 °C e pressão de $6,46 \pm 0,5$ kbar.

A amostra SM528A possui paragênese com granada, biotita, plagioclásio, muscovita,

quartzo e água e o cálculo indica como condições do pico metamórfico temperatura de $610 \pm 17^\circ\text{C}$ e pressão de $6,71 \pm 0,71 \text{ kbar}$.

A amostra DR151B está na zona da sillimanita e sua paragênese é sillimanita, estaurolita, granada, biotita, muscovita, plagioclásio, quartzo e água. Foram investigadas três possibilidades para o cálculo do seu pico metamórfico, que estão sumarizadas na **Tabela 6.1**:

- considerando todos os minerais de sua associação mineral como paragênese;
- considerando que a sillimanita é retrometamórfica e gerada por descompressão, e retirada para os cálculos;
- considerando que a estaurolita é metaestável na rocha e retirada para os cálculos.

No primeiro e no terceiro casos, o pico metamórfico ter-se-ia dado na zona da sillimanita, enquanto no segundo caso o pico metamórfico seria dado na zona da estaurolita, com sillimanita retrometamórfica. O único cenário que apresentou cálculos plausíveis foi o primeiro, assumindo estaurolita e sillimanita na paragênese. Nas demais possibilidades, embora o cálculo de temperatura seja possível, apresentando valores de $687 \pm 17^\circ\text{C}$ e $677 \pm 8^\circ\text{C}$, respectivamente, o cálculo de pressão não é possível por não apresentar um conjunto com número mínimo de reações linearmente independentes. Já no primeiro caso, o pico é perfeitamente calculado e ocorre em $672 \pm 10^\circ\text{C}$ e $6,23 \pm 0,4 \text{ kbar}$. Mesmo assim, nos três cenários os resultados de temperatura estão, estatisticamente, dentro dos limites de incerteza do método.

Tabela 6.1: Pico metamórfico calculado para os diferentes cenários de paragêneses para a amostra DR151B.

Paragênese	Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Pressão (kbar)
1) sill+st+grt+bt	672 ± 10	$6,23 \pm 0,4$
2) st+grt+bt	687 ± 17	-
3) sill+grt+bt	677 ± 8	-

Também da zona da sillimanita, a amostra DR349B apresenta a paragênese similar à DR151B, porém sem plagioclásio. Para essa amostra, também foram testadas todas as possibilidades de paragêneses acima descritas. Para a opção sem estaurolita no cálculo, o programa apresenta o mesmo problema da amostra DR151B, não encontrando um conjunto com número mínimo de reações linearmente independentes no cálculo de pressão. Já para

temperatura, o resultado é de $625\pm63^{\circ}\text{C}$. Desconsiderando sillimanita na paragênese, obteve-se $576\pm42^{\circ}\text{C}$ e $5,06\pm1,66$ kbar. Na situação em que todos esses minerais estão na paragênese, obtém-se temperatura de $647\pm14^{\circ}\text{C}$ e pressão de $7,01\pm0,52$ kbar. O sumário dos cálculos está na **Tabela 6.2**.

Tabela 6.2: Pico metamórfico calculado para os diferentes cenários de paragêneses para a amostra DR349B.

Paragênese	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Pressão (kbar)
1) sill+st+grt+bt	647 ± 14	$7,01\pm0,52$
2) st+grt+bt	576 ± 42	$5,06\pm1,66$
3) sill+grt+bt	625 ± 63	-

6.5 Pseudosseções

Com a análise química de rocha total obtida para a amostra DR039 e com a estimativa calculada para a amostra DR151B, obteve-se a proporção de óxidos normalizada para 100% apresentada na **Tabela 6.4** abaixo. Ressalta-se que no caso da amostra DR039, os valores obtidos por fluorescência Raios-X obtém o valor de Fe_2O_3 , sendo este, então, totalmente convertido para FeO. No caso de ocorrer Fe^{3+} , o valor de FeO será inferior e a composição se deslocará no sentido do vértice Al_2O_3 .

Tabela 6.4: Proporção de óxidos normalizada para 100% obtidas para as duas amostras estudadas.

Óxido	DR-039	DR-151B
SiO_2	69,47	63,33
TiO_2	0,72	1,28
Al_2O_3	10,58	20,09
Fe_2O_3	0,00	0,06
FeO	6,33	8,16
MnO	0,20	0,08
MgO	3,37	2,06
CaO	4,29	0,05
Na_2O	2,24	1,30
K_2O	2,00	3,60
A	0,32	0,48
M/F	0,35	0,20

As composições foram, então, plotadas em diagrama AFM (Thompson, 1957). Esse diagrama considera as proporções dos óxidos Al_2O_3 , K_2O , MgO e FeO , desprezando óxidos com menores percentuais na rocha como CaO e Na_2O . O diagrama é uma representação em planta do tetraedro KAFM, onde a projeção é feita a partir da muscovita, fazendo com que a biotita, mineral com potássio em sua composição, seja projetada abaixo da linha FM. Para plotar as composições químicas obtidas no diagrama AFM, deve-se calcular o valor de A de acordo com a fórmula abaixo:

$$A = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 - 3*\text{K}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3 - 3*\text{K}_2\text{O} + \text{FeO} + \text{MgO}}$$

$$\text{M/F} = \frac{\text{MgO}}{\text{FeO} + \text{MgO}}$$

Plotando as composições no diagrama AFM, pode-se observar que a amostra DR-151B fica acima da linha granada-clorita, sendo um pelito mais rico em Al_2O_3 , enquanto a amostra DR-039 fica praticamente sobre essa linha de conexão (**Figura 27**):

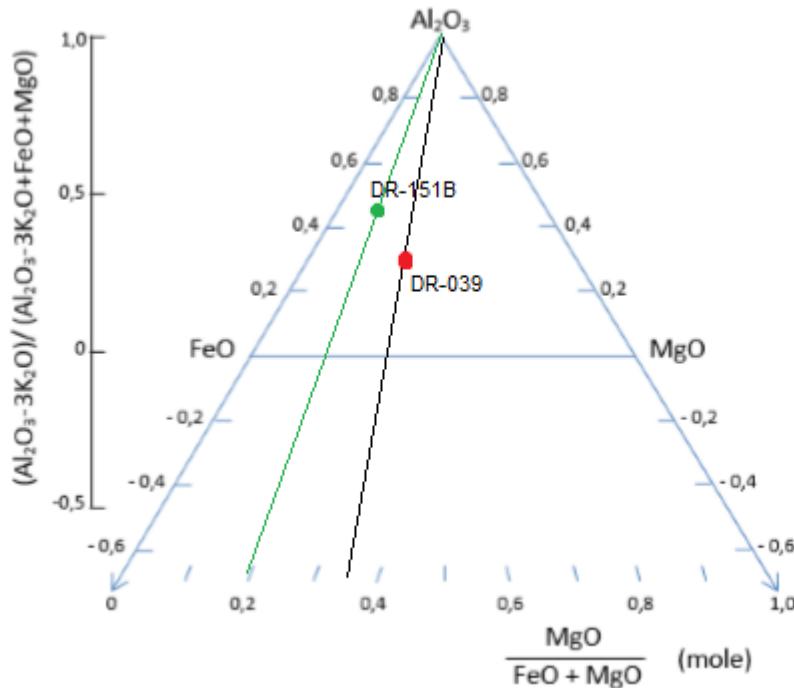


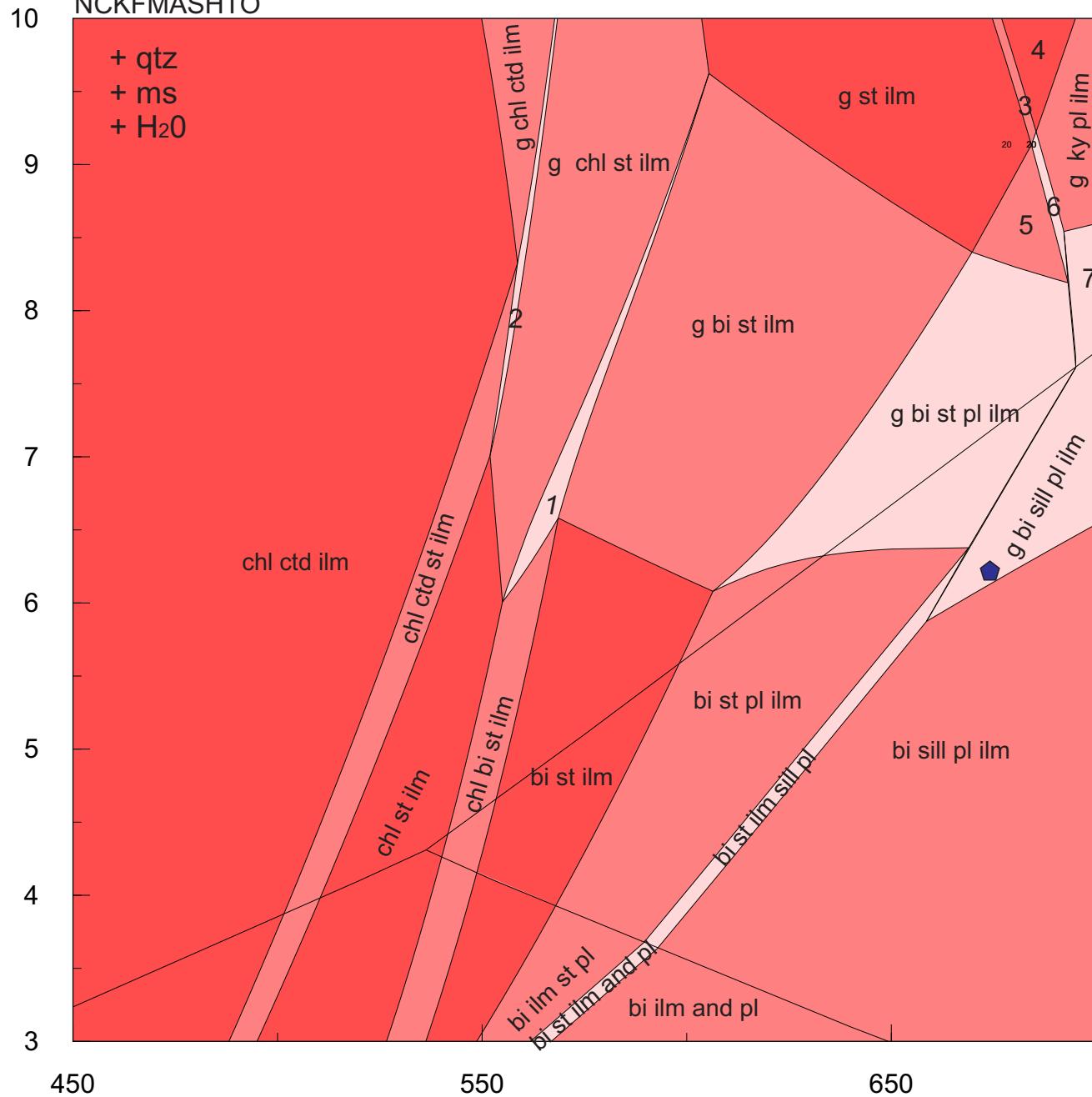
Figura 27: Diagrama AFM (Thompson, 1957) com as composições das amostras DR039 e DR151B plotadas.

6.5.1 DR151B

Para a rocha DR151B, foram calculadas duas pseudosseções, uma com a versão 3.40 do THERMOCALC (**Figura 28**) e outra com o programa PERPLEX (**Figura 29**). Em ambas, ocorrem campos de espessura muito limitada, que representam as reações univariantes do sistema KFMASH, ou mesmo linhas que são limites de campos de maior variância e responsáveis pelo aparecimento de estaurolita, biotita, plagioclásio e sillimanita e de consumo de cloritoide, clorita e estaurolita. Essas

linhas apresentam comportamento de termômetros. Já a reação de consumo e produção de granada é um importante geobarômetro. Biotita aparece temperaturas mais baixas, entre 550 e 600°C, já seu desaparecimento é dependente da pressão, superiores a 8,5kbar.

DR151B
NCKFMASHTO



- 1 g chl bi st im
2 g ctd chl st ilm
3 g st ilm ky
4 g ky ilm
5 g st ilm
6 g st ky pl ilm
7 g ky pl ilm

Figura 28: Pseudoseção calculada com o programa THERMOCALC (v. 3.40) para a amostra DR151B. O ponto em destaque representa as condições $P-T$ obtidas em termobarometria para a mesma amostra.

Sistema: NCKFMASHTO

DR151B

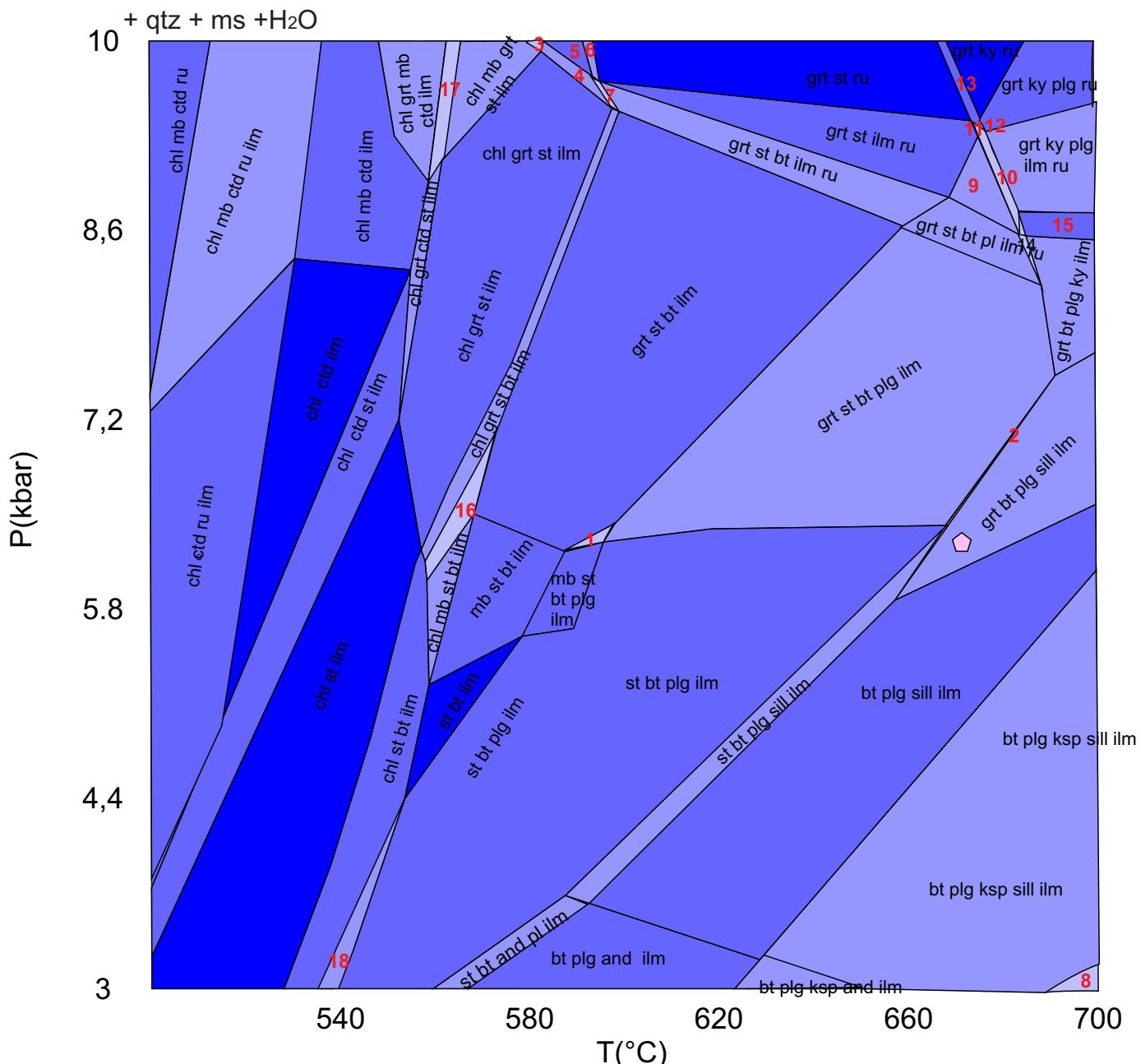


Figura 29: Pseudoseção calculada para a rocha DR151B utilizando o programa PERPLEX. O ponto em destaque, apresenta a localização das condições $P-T$ obtidas com termobarometria.

1 grt mb st bt plg ilm	6 chl grt st bt ru	11 grt st ky ilm ru	16 chl grt mb st bt ilm
2 grt st bt plg sill ilm	7chl grt st bt ilm ru	12 grt st ky pl ru	17 chl grt ctd st mb ilm
3 chl mb grt st ilm ru	8 bt crd plg ksp sill ilm	13 grt ky st ru	18 chl st bt pl ilm
4 chl grt st ilm ru	9 grt st ilm ru pl	14 grt bi st ky pl ilm	
5 chl grt st ru	10 grt st ky pl ilm ru	15 grt illm plq ky	

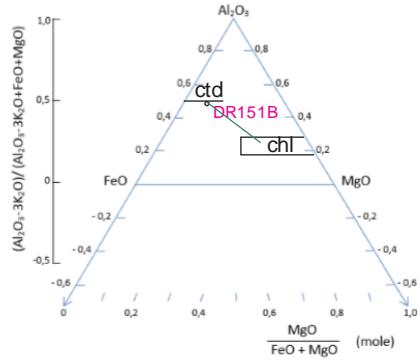
- clorita e cloritoide;
- estaurolita, clorita e clorítóide \pm granada;
- estaurolita e clorita \pm granada;
- estaurolita, biotita, clorita \pm granada;
- estaurolita + biotita \pm granada;
- estaurolita + biotita + plagioclásio \pm granada;
- estaurolita + sillimanita/cianita+ biotita+ plagioclásio \pm granada;
- sillimanita/cianita + plagioclásio \pm granada \pm biotita.

Nos diagramas AFM da **Figura 30**, podem ser observadas as principais paragêneses que essa rocha poderia desenvolver. Foram plotadas paragêneses com e sem granada, de acordo com a pressão. Plagioclásio não é representado. Nota-se o deslocamento das soluções sólidas dos minerais, principalmente clorita, biotita e granada, que mudam sua composição química com a mudança de condições *P-T*, incorporando mais ou menos Fe, Mg e Al.

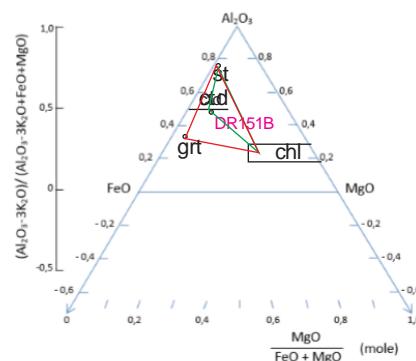
Já na pseudosseção obtida com o PERPLEX, destaca-se a substituição da fase ilmenita por rutilo em temperaturas baixas e em pressões altas. Além disso, o programa calcula vários campos pequenos com a presença de duas micas, possivelmente margarita ou paragonita. Esses campos aparecem na porção central da pseudosseção, antes da formação de plagioclásio. Duas micas também aparecem na porção de temperatura entre 540-590°C em pressão alta, próximo a reação de aparecimento de granada. Além disso, o programa calcula campos com dois plagioclásios, sendo um deles albita. Esses campos foram omitidos da pseudosseção por não apresentarem significados reais em rochas. Nos locais onde há aparecimento de mica branca, a geometria fica muito complexa, formando campos incompletos, o que dificulta a compreensão de todos os campos *P-T*. A pseudosseção do PERPLEX apresenta mais campos que a do THERMOCALC, principalmente em baixa temperatura.

Tirando essas mudanças, os dois programas apresentam reações de aparecimento e consumo de minerais índices de pelitos semelhantes. A geometria da pseudosseção é similar, deslocando apenas campos em alguns graus e/ou kbars. Em ambas, as condições *P-T* obtidas para essa rochas estão plotadas.

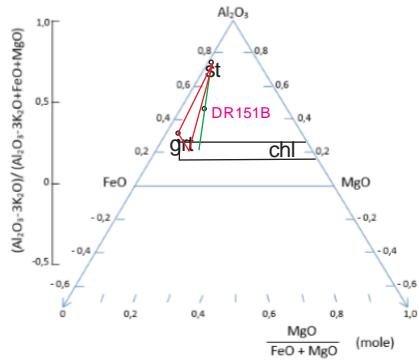
clorita - cloritoide



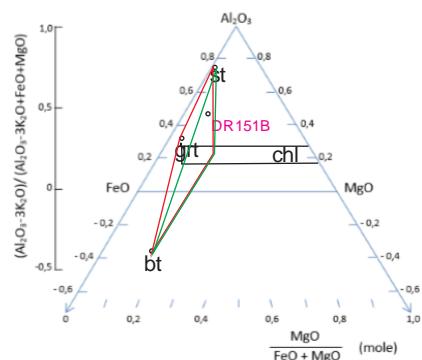
estaurolia - clorita - cloritoide - granada



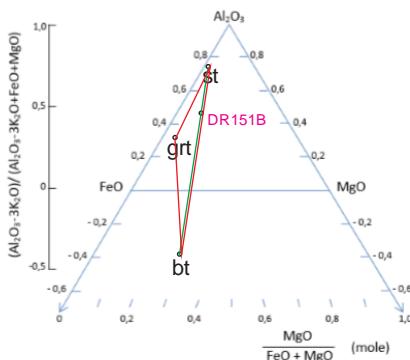
estaurolita - clorita - granada



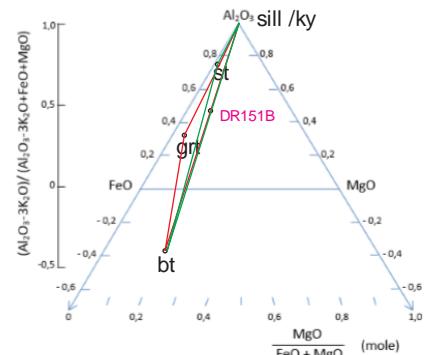
estaurolita - clorita - biotita - granada



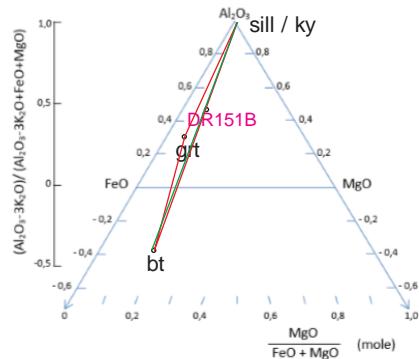
estaurolita- biotita - granada



estaurolita - sill/ky - biotita - granada



sill/Ky - biotita - granada



sill/Ky - granada

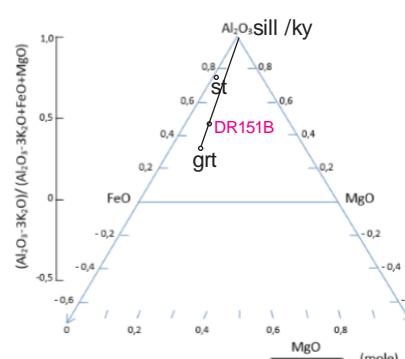


Figura 30: Diagramas AFM plotados com a composição da amostra DR151B e as principais

paragêneses possíveis obtidas na pseudosseção. Em vermelho são plotadas as paragêneses com granada e em verde, sem.

Para acomodação do titânio da rocha, podem ocorrer associações minerais com ilmenita ou rutilo. Em geral as associações minerais com cianita, ocorrem acima da reação de quebra da granada, portanto esses minerais ocorrem associados. Em pressões mais altas, ocorre a quebra da biotita, surgindo a associação mineral cianita + granada + plagioclásio \pm ilmenita/rutilo. Em pressões abaixo do ponto tríplice dos polimorfos de Al_2SiO_5 (andaluzita, sillimanita, cianita), ocorrem as associações minerais andaluzita + estaurolita + biotita + plagioclásio + ilmenita e andaluzita + biotita + plagioclásio + ilmenita (**Figuras 28 e 29**).

Destaca-se que nos campos com aluminossilicatos, há mudança na inclinação das retas das reações relacionadas ao seu aparecimento ou consumo. O mesmo ocorre com as retas das reações ao cruzarem a linha de aparecimento da granada, o ângulo da inclinação é modificado. O caso mais drástico de mudança ocorre entre as reações entre o campo com os minerais estaurolita, sillimanita, biotita, plagioclásio e ilmenita. Ao cruzar o aparecimento da granada com aumento da pressão, o campo que era visível na pseudosseção torna-se tão pequeno que as reações de quebra da estaurolita e aparecimento da sillimanita aparecem praticamente sobrepostas, embora tenham valores discretamente distintos. Esse campo corresponde à reação univariante do sistema KFMASH de quebra da estaurolita (**Figuras 28 e 29**).

Outra importante feição que merece destaque é a mudança de ângulo que a reação de aparecimento da granada sofre ao cruzar o aparecimento da sillimanita, formando uma espécie de ‘cotovelo’ deslocando a pressão da reação em cerca de 0,5 kbar e com diminuição da temperatura da reação em cerca de 20°C(**Figuras 28 e 29**).

Em baixas temperaturas, independente da pressão, são estáveis apenas clorita e cloritoide. Com incremento da temperatura, os minerais estaurolita, cloritoide, clorita, biotita e sillimanita vão se formando e sendo consumidos por diferentes reações. Granada depende mais da pressão não sendo estável em baixas pressões, inferiores à 5,5 kbar. A curva da granada, também, é a que mais sofre alterações em sua inclinação com a formação e consumo dos demais minerais (**Figuras 28 e 29**).

Em geral os minerais são formados e consumidos em pares, por exemplo, cloritoide e estaurolita, clorita e biotita, estaurolita e sillimanita/cianita. As exceções são para minerais com comportamento de geobarômetros, tais como granada e biotita, em alta pressão, e plagioclásio. Isso faz com que sejam formados campos de reações sub-paralelas em toda a extensão vertical, envolvendo a

pressão da pseudosseção com grau de liberdade inferior. Por fim, destaca-se a presença de ilmenita em toda a pseudosseção do THERMOCALC não sendo obtidas reações com produção de rutilo (**Figura 28**). Diferente da do PERPLEX onde essa reação ocorre amplamente na pseudosseção (**Figura 29**).

6.5.2 DR039

Para a amostra DR039, o cálculo de uma pseudosseção com o THERMOCALC não produziu resultados satisfatórios. Em temperatura baixa, a pseudosseção assume uma geometria muito complexa que não foi possível de calcular. Já o programa PERPLEX consegue calcular a pseudosseção, porém a mesma não é apresentada pois o resultado é complexo demais e têm muitas incoerências. A rocha em questão é uma ardósia com variação composicional sedimentar preservada, isso faz com que cada banda apresente uma composição diferente. Ao analisar a química de rocha total, essas diferenças são desprezadas e uma única composição é assumida para a rocha toda. Isso é um erro, pois não representa a composição real envolvida para o cálculo da pseudosseção da rocha. Com isso, os campos *P-T* calculados apresentam limitações em seu uso para o entendimento petrológico da rocha.

Além disso, a rocha não é um metapelito verdadeiro, pois apresenta quantidade significativa de plagioclásio e seu protolito foi proveniente de sedimento imaturo. A pseudosseção obtida com o PERPLEX apresenta diferenças importantes em relação ao diagrama de Spear & Cheney (1989), grade petrogenética para pelitos em sistema KFMASH, como por exemplo, a estaurolita apresenta-se com comportamento de geobarômetro em determinadas porções da pseudosseção. Destaca-se, também, que o aparecimento de aluminossilicato na rocha se dá exclusivamente abaixo da linha $ky=sill$, fazendo com que em nenhuma condição *P-T* ocorra a presença de cianita. Em baixas temperaturas não ocorrem campos com cloritoide. Essas são condições atípicas para metapelitos, o que tornou a pseudosseção incoerente com o esperado. Merece destacar que os campos calculados apresentavam plagioclásio em todas as condições *P-T* e epidoto é estável em temperatura intermediária.

6.6 Mapa de isógradas e Gradiente Metamórfico de Campo

Com as informações obtidas em petrografia foi confeccionado mapa com as isógradas inferidas de acordo com as principais paragêneses observadas. A posição das isógradas é baseada na quantidade de lâminas disponíveis e, para o presente momento, carece de maior detalhamento de campo. A zona da granada, por exemplo,

tem início na porção a leste no mapa e sua cobertura é ampla, mas seu significado petrológico preciso necessita de maior detalhamento, pois as condições P - T calculadas para a amostra típica da zona não é muito diferente das calculadas para as outras amostras. A amostra DR039 descrita e analisada não aparece no mapa por estar localizada a leste da região de onde a maior parte das amostras provém (WGS 84, Zona 22S 733679 7237299).

O mapa geológico apresentado nos anexos foi confeccionado com compilação de dados geológicos de Faleiros *et al.*(2016) e Faleiros & Pavan (2013), as informações sobre as unidades descritas são extraídas dessas referências, mas as informações estruturais não estão apresentadas. Foram adicionadas as informações de lâminas adicionais não disponíveis nesses trabalhos e com isso, inferidas as isógradas da maneira mais precisa para o presente momento.

O gradiente metamórfico de campo foi elaborado com os resultados obtidos com a termobarometria das amostras das zonas metamórficas definidas (**Figura 31**) ecomparado com outros gradientes de terrenos clássicos e com dados prévios deFaleiros (2008).

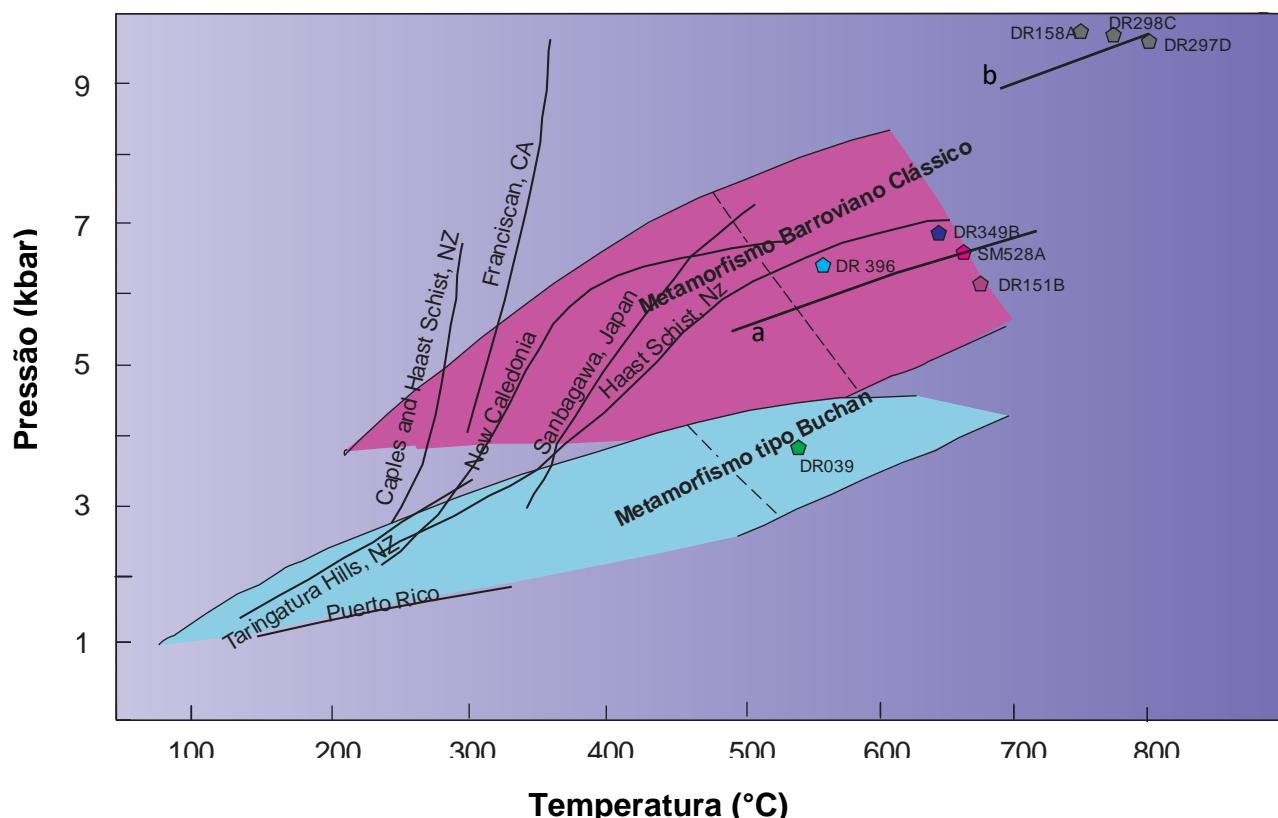


Figura 31:Gráfico P x T adaptado de Winter (2010) com os valores calculados de pressão e temperatura para as amostras estudadas no presente trabalho. As amostras em cinza possuem seus valores P -Tretirados de Faleiros (2008). A reta **a** representa o possível gradiente

metamórfico de campo para as rochas estudadas nesse trabalho e a reta **b** representa o possível gradiente para as rochas de Faleiros (2008).

A comparação entre os dados termobarométricos aqui levantados com as amostras estudadas por Faleiros (2008), pertencentes à Formação Turvo-Cajati e localizadas a sul das amostras DR151B e DR349B, é apresentada. As amostras descritas por Faleiros (2008) estão localizadas a sul das estudadas nesse trabalho, na Formação Alto Turvo-Cajati. As condições de pressão e temperatura descritas em literatura divergem das determinadas nesse trabalho, embora pertençam a mesma unidade geológica. As rochas investigadas nesse trabalho apresentam pressões e evolução de acordo com o gradiente metamórfico de campo do tipo barroviano clássico. A inclinação do gradiente é pouco precisa, pois o número de amostras investigadas é pequeno, mas o contraste com dessas amostras com a amostra DR039 é evidente, pois a última não se enquadra no alinhamento proposto e última fica inserida dentro do campo de baixa pressão, do metamorfismo tipo Buchan. As amostras investigadas por Faleiros (2008) da Formação Turvo-Cajati, distante entre oito e doze quilômetros da região em que as presentes amostras foram coletadas, apresentam valores de pressão superiores à 9kbar e se enquadram em gradiente metamórfico de campo muito diferente, possivelmente também barroviano, mas em gradiente de pressão distinto (**Figura 31**). As amostras investigadas por Faleiros (2008) apresentam paragênese com granada, cianita e feldspato potássico, o que por si só já indica condições *P-T* bem mais elevadas.

7. INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÕES

7.1 Petrografia e Mapa de Isógradas

As análises de petrografia permitem observar diferentes paragêneses com metamorfismo variando entre fácies xisto verde inferior, zona da biotita, até fácies anfibolito superior, zona da sillimanita. Unindo esses dados com a grade de Spear & Cheney (1989), pode-se observar variação de temperatura desde inferiores a 450 °C, na zona da biotita, passando por temperaturas entre 550-630°C nas zonas da granada e da estaurolita, até temperaturas entre 620-690°C na zona da sillimanita.

A origem da sillimanita pela quebra da estaurolita e ausência de cianita e andaluzita, indica que a pressão foi inferior a 8 kbar e superior a 5 kbar, o que é diferente do que estudos prévios sugerem, com pressões mais elevadas que o metamorfismo barroviano clássico (Faleiros, 2008).

A análise de micro-estrutural permite observar três fases de deformação na

maior parte das amostras analisadas. A presença de *mica fish* indica intenso cisalhamento em algumas amostras, o que corrobora com a presença de duas zonas de cisalhamento descritas e reconhecidas na geologia regional, onde as amostras estão inseridas. Os grãos de quartzo sofreram recristalização dinâmica, o que também indica regime de cisalhamento. Nas amostras de mais alta temperatura, pode-se observar GBM nos grãos de quartzo, corroborando com a temperatura do pico metamórfico. Muitas vezes, há texturas indicando *bulging* nessas mesmas amostras, o que indica sobreposição de deformação de mais baixa temperatura, provavelmente no soerguimento das rochas.

Foram observadas diferentes paragêneses nas rochas estudadas, desde metamorfismo de temperatura mais baixa, fácies xisto verde-zona da biotita, até evidências de que as rochas da formação cruzaram a reação de quebra da estaurolita, formando a paragênese biotita, granada e sillimanita. Essas rochas representam a maior temperatura observada neste estudo, já em fácies anfibolito superior.

Com a variação das paragêneses, foi possível confeccionar um mapa de isógradas com cincozonas distintas, biotita, granada, estaurolita, estaurolita com sillimanita e sillimanita. À sul da cidade de Cajati, porção leste do mapa, em que a variação do metamorfismo é observada em curto espaço geográfico, pode-se observar incremento da temperatura para oeste. Podendo distinguir-se as zonas da granada, estaurolita com sillimanita e sillimanita. Não pode ser traçada a isógrada da entrada da granada, nem do aparecimento da estaurolita sem sillimanita. Isso pode indicar que as rochas da zona tem metamorfismo próximo à reação da quebra da estaurolita ($st + ms = sill + bi + H_2O$), podendo inclusive ter estaurolita metaestável ou retrometamórfica.

As amostras dos pontos DR359 e DR354 apresentam a paragênese quartzo, muscovita, ilmenita e biotita, porém a rocha DR359 localiza-se na Formação Baixo Turvo-Cajati, enquanto que a DR354 na Formação Médio Turvo-Cajati. Para a amostra DR354, a composição é muito distinta das adjacentes, pois apresenta cerca de 35% de plagioclásio, contra menos de 10% nas outras. Isso pode explicar sua paragênese com apenas a adição de biotita, a rocha não possuiria alumínio suficiente para desenvolver os demais minerais aluminosos nessa condição *P-T*.

Na porção a sudoeste da área, onde há um aglomerado de lâminas com código SM descritas, nota-se novamente incremento de temperatura para oeste. Nessa porção pode-se observar as isógradas de entrada da granada e da estaurolita, permitindo o reconhecimento das zonas da biotita, granada e estaurolita (**Mapa Geológico com localização das amostras nos Anexos**).

Entre esses dois grupos, há continuidade das Zonas de Cisalhamento Macaco Branco e Putunã, sendo que as amostras SM estão a norte das zonas de cisalhamento, e as DR a sul. Como o deslocamento das duas zonas é sinistral, infere-se que houve deslocamento lateral das amostras DR para leste (**Mapa Geológico com localização das amostras nos Anexos**).

Para a formação da sillimanita duas possibilidades são consideradas. Na primeira, a sillimanita é formada pela quebra da estaurolita com aumento de temperatura, indicando que o pico metamórfico se deu em temperaturas entre 620-690°C, na zona da sillimanita. A alternativa é que a sillimanita formou-se por descompressão, após o pico metamórfico. Neste caso, o pico metamórfico ter-se-ia dado na zona da estaurolita, com temperaturas inferiores à 630°C e pressões algo mais elevadas. Como ocorrem rochas da zona da sillimanita em estaurolita, muito próximas dessas, há forte indício de que a formação da sillimanita é dada por aumento de temperatura e que essa define a zona de mais alta temperatura da região. Questiona-se, então, por que não houve consumo total da estaurolita. Podem ser consideradas as hipóteses de que a estaurolita é retrometamórfica, que não houve consumo total da estaurolita para formar sillimanita; isso poderia ocorrer, por exemplo, por motivos de cinética de reação, envolvendo os fluidos presentes ou não. A quantidade de fluidos pode não ter sido suficiente para ajudar o desenvolvimento da reação, dificultando a difusão e impedindo o consumo da estaurolita. A estaurolita pode, ainda, ter sido isolada do sistema químico, ficando afastada dos minerais reagentes necessários para o procedimento da reação. Essa possibilidade, entretanto, é pouco provável, pois é comum que a mesma esteja em contato com muscovita ou quartzo, os típicos reagentes envolvidos em sua quebra, como pode ser observado nas grades do sistema KFMASH (Spear & Cheney, 1989; Powell & Holland, 1990). O Zn na estaurolita ainda pode ser responsável pela ampliação de seu campo de estabilidade, gerando sua coexistência com a sillimanita. Isso não pode ser investigado atualmente nas pseudoseções, pela falta de dados termodinâmicos da partição do Zn entre estaurolita e outros silicatos. No entanto, a quantidade de Zn nos cristais de estaurolita analisados é bem baixa. Outra explicação para a ocorrência simultânea de estaurolita e sillimanita é que essas rochas se formaram dentro do campo onde essa paragênese é estável. Observando na pseudoseção calculada para a amostra DR151B, nota-se que esse campo é muito pequeno, basicamente coincidindo com área de quebra da estaurolita e produção da sillimanita, que em sistema NCKFMASHTO definem campo muito restrito, muito semelhante ao KFMASH, pelo menos para a amostra investigada. Isso limita bastante o campo *P-T* que essa

rocha se formou. Como há amostras sem estaurolita na zona da sillimanita a oeste das amostras com os dois minerais na paragênese, há forte indício para que a sillimanita não seja retrometamórfica e sim que o pico metamórfico dessas amostras ter-se-ia dado na zona da sillimanita, corroborando com o aumento das condições de metamorfismo para oeste.

7.2 Química Mineral

A química mineral dos grãos de granada permite inferir composição rica em Fe^{2+} , Mg e Ca, pelos altos percentuais de almandina, piropo e grossulária nos grãos analisados. Pode-se, também, notar enriquecimento de Fe^{2+} nas bordas da granada, o que é indício de que no final da cristalização das mesmas, o sistema estava cada vez mais rico em Fe^{2+} , que pode indicar o consumo de óxidos de Fe ou de estaurolita na formação da granada. A única exceção para esse padrão é a amostra DR396, onde há maior concentração de Fe no núcleo em relação às bordas. Isso pode indicar que o crescimento desse mineral na amostra se deu com a quebra da clorita, que forneceu Mg para o sistema e menor quantidade de Fe^{2+} . Outra evidência para o enriquecimento de Fe^{2+} no sistema é o aumento do percentual de almandina nas rochas de mais alta temperatura em relação às de baixa temperatura. Nas amostras da zona da granada, há cerca de 55% de almandina nos grãos de granada analisados. Já na amostra da zona da sillimanita, esse valor chega a 75-80%. Uma possível explicação é a quebra de estaurolita, que por ter muito Fe^{2+} em sua composição, enriquece o sistema nesse elemento, consumido pela granada. Isso pode ser observado pelo decréscimo de Fe^{2+} nas bordas dos grãos de estaurolita (**Figuras 16 A-B**).

A distribuição dos elementos nos mapas compostionais concorda com os perfis feitos com análises pontuais nos grãos de granada. Em geral, ocorre enriquecimento de Fe e Mg nas bordas e maiores quantidades de Mn e Ca no núcleo. Isso pode ocorrer devido à incorporação de Fe e Mg com a quebra de biotita e estaurolita para formação da granada. Já os elementos Mn e Ca são consumidos principalmente na fase de nucleação, sobrando menores quantidades dos mesmos no final da cristalização do grão.

Os gráficos Fe x Mg apresentados para biotita e muscovita indicam maior variação compostional para as análises de DR039 e DR396, em relação às demais amostras. Isso pode ser explicado pelo grau inferior de metamorfismo que essas rochas sofreram, fazendo com que diferenças químicas da disposição desses elementos em camadas distintas no protolito fossem preservadas e refletindo em

pequenas variações na composição química dos minerais. Com o aumento do metamorfismo, a difusão torna-se mais eficaz e as diferenças químicas diminuem, tendendo a equalizar a distribuição dos elementos nos minerais. Além disso, a relação Fe x Mg apresenta duas concentrações com dois grupos, o primeiro com as amostras DR039 e DR396 e outro com as amostras DR151B, DR349B e SM528A. A diferença pode ocorrer devido à diferença composicional das amostras, sendo as segundas mais ricas em alumínio que as primeiras. A química total de rocha apresenta 20% de Al_2O_3 na amostra DR151B contra apenas 10% do mesmo óxido na amostra DR039. A escassez de alumínio dificulta a formação de minerais como clorita, cloritoide e aluminossilicatos.

A análise de plagioclásio foi pouco conclusiva em relação à variação do teor de anortita do núcleo para as bordas dos grãos analisados. Podem-se observar valores muito distintos do teor de anortita em amostras da zona da granada, em relação aos de maior temperatura, de composições An_{11} e An_{45} , respectivamente. Isso pode indicar que parte dos grãos é detritica e ainda não foi re-equilibrada pelo metamorfismo. Nos cálculos termobarométricos, a hipótese foi considerada e o plagioclásio foi assumido como detritico na amostra DR039 e, portanto, desconsiderado da paragênese. No início do metamorfismo, o efeito da temperatura deve tornar o grão cada vez mais rico em albite e o cálcio restante deve ser acomodado em outra fase, tal como epidoto ou granada. Por exemplo, na amostra da zona da granada sem clorita (SM528A), o plagioclásio é An_{10} , em média, e na zona da estaurolita chega ao máximo de $\text{An}_{2,5}$.

7.3 Geotermobarometria e Gradiente Metamórfico de Campo

Os cálculos geotermobarométricos apresentam resultados bons e condizentes com o esperado pelas grades petrogenéticas de Spear & Cheney (1989), principalmente nas amostras mais ricas em Al_2O_3 , SM528A, DR349B e DR151B. A diferença de temperatura entre as rochas é de $\sim 150^\circ\text{C}$, o que permite inferir que o metamorfismo que ocorreu na região foi do tipo regional. A pressão obtida nos cálculos nessas rochas foi inferior à 7kbar, com variação entre as amostras inferior à 1 kbar, isso indica que o metamorfismo não apenas é regional como apresenta regime de pressão similar ou algo inferior ao barroviano clássico, com pico metamórfico na zona da sillimanita, mas sem ter passado pela zona da cianita. A única exceção a esses resultados é a amostra DR039, cuja pressão obtida foi inferior às demais, de $3,76 \pm 1,61$ kbar. Isso é algo que deve ser investigado com maior detalhe em trabalhos futuros.

Observando o gradiente metamórfico de campo, pode-se notar que há relação

linear entre as amostras estudadas com exceção da amostra DR039. A disposição das condições $P-T$ de cada amostra em relação aos gradientes metamórficos de campo, compilados por Winter (2010), indica que as amostras estão de acordo com o metamorfismo barroviano da Escócia, novamente à exceção da amostra DR039 que teria metamorfismo do tipo Buchan, de baixa pressão e deve-se ajustar em outro gradiente metamórfico de campo. Como a localização da amostra é distante das demais estudadas, sugere-se que há provável contato tectônico entre elas. Isso precisaria ser investigado com trabalho de campo e estudo de detalhe incluindo amostras de rochas adjacentes. Além disso, foram desconsiderados plagioclásio e epidoto nos cálculos geotermobarométricos, com esses minerais, o resultado poderia ser diferente e mais preciso.

Com relação aos estudos feitos por Faleiros (2008), a comparação das condições $P-T$ obtidas no presente trabalho, nota-se uma diferença de pressão de ~3 kbar para cálculos feitos com amostras também atribuídas à Formação Turvo-Cajati (**Figura 31**). Enquanto as rochas deste trabalho estão em gradiente de metamorfismo barroviano clássico, as investigadas por Faleiros apresentam pressões superiores à 9 kbar, com granada, cianita e feldspato potássico na paragênese. Os regimes apresentam desenvolvimento de gradiente metamórfico de campo do tipo metamorfismo regional, embora tenham regimes de pressão distintos. O evento do metamorfismo para formação dos dois conjuntos de rochas pode ter sido concomitante, mas ocorreram em regimes de pressão distintos, em gradientes metamórficos de campo distintos e algum evento tectônico posterior foi responsável pela justaposição geológica de porções distintas da Formação Turvo-Cajati, ou alternativamente das suas unidades.

7.4 Pseudosseções

Como pode ser observado na **Figura 27**, os pontos representando as amostras DR039 e DR151B estão em locais bem distintos no diagrama AFM, isso foi indicado pela diferença na relação Fe x Mg da biotita apresentada na **Figura 15**. A diferença pode ser observada tanto na petrografia dessas rochas, na mineralogia apresentada por elas e na evolução de cada uma das pseudosseções calculadas.

A amostra DR151B é mais aluminosa que a amostra DR039, tendo o dobro de Al_2O_3 , enquanto a amostra DR039 possui maior percentual de sílica. Isso permite que a amostra DR151B desenvolva os principais minerais encontrados em pelitos. O que não ocorreu na amostra DR039. A pseudossecção calculada com o programa THERMOCALC, embora mais simplificada que a do PERPLEX apresenta-se mais

próxima das condições encontradas na natureza. Por exemplo, não são observadas duas variações de mica em metapelitos, o que é incoerente com o resultado do programa PERPLEX. Tirando as diferenças nas fases com TiO_2 , mica branca e no plagioclásio, os programas apresentam as demais reações em condições $P-T$ similares e em ambas as condições $P-T$ obtidas em termobarometria caem próximo do campo com estaurolita e sillimanita.

O programa PERPLEX calcula duas micas em campos que antecedem a formação de minerais ricos em cálcio, como antes do aparecimento da granada e do plagioclásio. Isso pode acontecer para realocar o cálcio nos possíveis minerais que sistema permite. Novamente ressalta-se que isso não é comum de ser observado na natureza e com os equipamentos atuais pode até ser difícil analisar intercrescimentos de duas micas em escala submicroscópica. Portanto, neste trabalho defende-se que a pseudosseção obtida com o programa THERMOCALC é mais coerente com a rocha investigada.

A pseudosseção para a amostra DR039 não se mostrou coerente com a situação observada em petrografia da rocha, além disso, suas condições $P-T$ calculadas com o THERMOCALC não estão de acordo com o campo em que a paragênese ocorre na pseudosseção. Entretanto, a pseudosseção apresentou plagioclásio e epidoto em grande parte dos campos. Isso pode alterar os valores de $P-T$ calculados com o THERMOCALC, uma vez que se assumiu que o plagioclásio na amostra é detritico e epidoto não pode ser analisado devido sua granolumetria e problemas de polimento. A amostra, portanto, precisaria de maiores estudos, observando a variação composicional das bandas milimétricas e analisando todas as fases da paragênese com microssonda.

8. CONCLUSÕES

O estudo feito nas rochas de grau metamórfico médio a alto da Formação Turvo-Cajati ajudaram a complementar as informações disponíveis em literatura sobre o desenvolvimento do metamorfismo das rochas da formação e melhor compreender a evolução da região. A comparação do gradiente metamórfico de campo do presente estudo com o disponível em literatura indica que as rochas passaram por regimes de pressões distintas. Além disso, o desenvolvimento de

ambos gradientes indica regime similar ao barroviano clássico. Isso pode indicar que essas rochas sofreram metamorfismo concomitante, mas profundidades distintas. Um evento tectônico posterior ao metamorfismo teria colocado essas rochas lado a lado. Isso precisaria ser mais bem desenvolvido e estudado com trabalho de campo.

A amostra DR039 apresentou pressão de formação muito diferente das demais estudadas, sendo classificada como metamorfismo do tipo Buchan. A amostra está distante das demais, novamente podendo ter algum contato tectônico entre elas. De mesmo modo, isso precisaria ser mais bem estudado com rochas adjacentes a essa.

Embora com a petrografia fosse possível obter uma estimativa razoável de pressão que essas rochas passaram, a termobarometria foi indispensável para precisar o regime bárico das rochas. Apenas com a petrografia, com a gama de paragêneses obtidas, a variação das condições *P-T* inferida é muito maior do que a obtida com geotermobarometria. Com os cálculos do THERMOCALC, é possível perceber que as rochas estão em um campo *P-T* mais restrito e condizente com o metamorfismo tipo barroviano. A diferença de associações minerais estáveis em cada rocha, portanto, se deve principalmente à composição química das mesmas e não necessariamente à condições *P-T* muito diferentes. O pico metamórfico da região ocorreu na zona da sillimanita. Infere-se que as zonas de cisalhamento Putunã e Macaco Branco que separam as rochas descritas e tem comportamento sinistral deslocaram as rochas DR, das zonas da sillimanita, sillimanita com estaurolita e da granada para leste, afastando-as das SM.

A química mineral corroborou com a hipótese de rochas com composições químicas diferentes, mostrando diferenças na relação Fe x Mg em muscovita e biotita em rochas com paragêneses distintas. As rochas mais ricas em Al₂O₃ teriam formado minerais com maior percentual desse óxido, permitindo que a associação mineralógica permitisse formação de mais fases minerais. Já as rochas com mais álcalis não possuem tantos minerais . o que faz com o que o campo de estabilidade dos que ocorrem seja ampliado.

Os mapas compostionais de granada mostram enriquecimento de Fe²⁺ e Mg nas bordas dos grãos e de Mn e Ca nos núcleos. Isso era esperado pois Mn e Ca são incorporados na fase de nucleação, enquanto Mg e Fe²⁺ são incorporados da quebra de outros minerais, como estaurolita, biotita e clorita. Os perfis de análise química de granada feitos com microssonda mostram o mesmo padrão que os mapas. Única exceção ao padrão é a amostra DR396 que apresenta perfis de Fe²⁺

maiores nos núcleos. Neste caso, a formação da granada pode ter ocorrido a partir da quebra da clorita, enquanto nos demais casos, teria se dado de biotita e/ou estaurolita.

As pseudosseções calculadas para a amostra DR151B apresentaram-se coerentes com os cálculos geotermobarométricos, com os valores *P-T* calculados plotados próximos ao campo com estaurolita e sillimanita, que estão presentes na rocha. As demais amostras, ao serem plotadas na pseudosseção da DR151B não possuem campos condizentes com a paragênese observada em cada uma delas. Portanto, a composição química dessas rochas é diferente o suficiente para serem necessárias confecção de pseudosseções para cada uma das amostras.

A Formação Turvo-Cajati, como entendida hoje, reúne mais de um grupo de rochas metamórficas, com gradientes metamórficos de campo distintos, o que implica em regimes tectônicos diferentes. Isso deve ser investigado para melhor entendimento do regime tectônico-metamórfico da região, que engloba mais de um tipo de gradiente metamórfico de campo barroviano e um possível Buchan.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrow, G. 1912. On the geology of lower dee-side and the southern Highland border.*Proceedings of the Geologists' Association* 23: 274-290.
- Basei, M.A.S., SigaJúnior, O., Machiavelli, A., Mancini, F. 1992. Evolução tectônica dos terrenos entre os cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC).*Revista Brasileira de Geociências*, 22(2): p. 216-221.
- Bowen, N. L. 1940. Progressive metamorphism of siliceous limestone and dolomite. *The Journal of Geology* p. 225-274.
- Brito Neves, B.B.; Campos Neto, M.C.; Fuck, R.A. 1999. From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. *Episodes*, 22, 155-166.
- Bucher, K. & Frey, M. 2002. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. 7th Ed. Springer-Verlag. 341p.
- Campos Neto, M. C. 2000. Orogenic Systems from Southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage in southeastern Brazil. *Tectonic Evolution of South America*. 31, 335-365.
- Carswell, D. A. 1990. *Eclogite facies rocks*. Springer. 396 p.
- Connolly, J. A. D. 1990. Multivariable phase diagrams: an algorithm based on generalized thermodynamics. *Am J Sci*, 290, 666-718.
- Deer W. A., Howie R. A., Zussman J. 1982. *Rock-forming minerals*. Longman Group Limited, London.
- Dehler, N. M., Machado, R., Vasconceos, C. S. 2000. Tectônica extensional oblíqua em uma área a sudoeste da cidade de Cajati, sul do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências* 30(4), 699-706.
- Evans, T. P. 2004. A method for calculating effective bulk composition modification due to crystal fractionation in garnet-bearing schist: implications for isopleth thermobarometry. *Journal of Metamorphic Geology*, 22(6), 547-557.
- Faleiros, F. M. 2008. *Evolução de terrenos tectono-metamórficos da serra da Ribeira e planalto alto turvo (SP, PR)*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 304 p.
- Faleiros, F.M., Campanha, G.A.C., Martins, L., Vlach, S.R.F., Vasconcelos, P.M., 2011. Ediacaran high-pressure collision metamorphism and tectonics of the southern Ribeira Belt (SE Brazil): evidence for terrane accretion and dispersion during Gondwana assembly. *Precambrian Research*, 189, 263–291.
- Faleiros, F. M., & Pavan, M. 2013. Geologia e Recursos Minerais da Folha Eldorado

- Paulista-SG-22-XB-XI, Estado de São Paulo, Escala: 1: 100.000. *Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM*. São Paulo.
- Fleet, M. E., Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J. (Eds.). 2003. *Rock-Forming Minerals: Micas*. Geological Society of London. 766p.
- Guevara, V. E., Caddick, M. J. 2016. Shooting at a moving target: phase equilibrium modelling of high temperature metamorphism. *Journal of Metamorphic Geology*, 34, 209-235.
- Hawthorne, F.C., Ungaretti, L., Oberti, R., Caucia, F., Callegari, A., 1993. The crystal chemistry of staurolite, crystal structure and site populations. *Canadian Mineralogist*, 31(3), 551-532.
- Holdaway, M.J., Dutrow, B.L., Shore, P. 1986. A model for the crystal-chemistry of staurolite. *American Mineralogist*, 71(9-10), 1142-1159.
- Holdaway, M. J., 2004. Optimization of some key geothermobarometers for pelitic metamorphic rocks. *Mineralogical Magazine*, 68(1), 1-14.
- Holland, T. J. B. and Powell, R. 2011. An improved and extended internally consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest, involving a new equation of state for solids. *Journal of Metamorphic Geology*, 29 (3), 333-383.
- Kohn, Matthew J., and Frank Spear. 2000. Retrograde net transfer reaction insurance for pressure-temperature estimates. *Geology* 28.12, 1127-1130.
- Pavan M. 2010. *Modelamento metamórfico de rochas das fácies xisto verde e anfibolito com o uso de pseudosseções: Exemplo das rochas da Klippe Carrancas, sul de Minas gerais*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 147p.
- Perrota, M.M., Salvador, E.D., Lopes, R.C., D'Agostinho, L.Z., Peruffo, N., Gomes, S.D., Sachs, L.L.B., Meira, V.T., Garcia, M.G.M., Lacerda Filho, J.V., 2005. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:750.000. *Programa Geologia do Brasil – PGB, CPRM*. São Paulo.
- Powell R. & Holland T.J.B. 1993. One the formulation of simple mixing models for complex phases. *American Mineralogist*. 78, 1174-1180.
- Powell R., Holland T.J.B., Worley B. 1998. Calculating phase diagrams involving solid solutions via non linear equations, with examples using THERMOCALC. *Journal of Metamorphic Geology*. 16, 577-588.
- Powell, R.; Guiraud, M., White, R.W. 2005. Truth and beauty in metamorphic mineral equilibria: conjugate variables and phase Diagrams. *Canadian Mineralogist*, 43, 21 -33.

Powell, R., & Holland, T. J. B. (2008). On thermobarometry. *Journal of Metamorphic Geology*, 26(2), 155-179.

Siga Júnior, O., de Barros Gomes, C., Sato, K., Passarelli, C. R. 2007. O maciço alcalino de Tunas, PR: novos dados geocronológicos. *Geologia USP. Série Científica*, 7(2), 71-80.

Silva, A. T. S. F. & Algarte, J. P. 1981. Contribuição à geologia da Sequência Turvo-Cajati entre o Rio Pardo e Pariquerá-Açu, estado de São Paulo. I – Litologia e Petrografia. *Atas do 3º Simpósio Regional de Geologia, SBG*, Curitiba, PR, volume 1, 109-119.

Silva, A. T. S. F. & Algarte, J. P. 1981. Contribuição à geologia da Sequência Turvo-Cajati entre o Rio Pardo e Pariquerá-Açu, estado de São Paulo. II – Estrutura, metamorfismo e evolução geotectônica. *Atas do 3º Simpósio Regional de Geologia, SBG*, Curitiba, PR, volume 1, 121-132.

Spear, F. S., & Cheney, J. T. 1989. A petrogenetic grid for politic schists in the system SiO₂-Al₂O₃-FeO-MgO-K₂OH-2O. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 101(2), 149-164.

Spear, F.S. 1993. Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. Monograph 1, *Mineralogical Society of America*, Chantilly, Virginia.

Stüwe, K. 1997. Effective bulk composition changes due to cooling: a model predicting complexities in retrograde reaction textures. *Contribution to Mineralogy and Petrology*. 129, 43-52.

Thompson, J.B. Jr. 1957. The graphical analysis of mineral assemblages in politic schists. *American Mineralogist* 42: 842 - 858.

Turner, F. J. 1981. *Metamorphic Petrology: Mineralogical, Field and Tectonic Aspects*. 2nd Edition. Washington, New York, and London (McGraw Hill), p. 426-427.

Thompson Jr, J. B. 1957. The graphical analysis of mineral assemblages in pelitic schists. *Am. Mineral.*, 42, 842-858.

Vasconcelos, C.S.; Dehler, N.M.; Yamato, A.A.; Lopes Júnior, I. 1999. Projeto Jacupiranga-Rio Guaraú (mapeamento geológico na escala 1:50.000). *Convênio Secretaria de Estado de Energia / CPRM - Serviço Geológico do Brasil*. São Paulo, 1999. 230p.

White R.W., Powell R., Holland T.J.B. 2007. Progress relating to calculation of partial melting equilibria for metapelites. *Journal of Metamorphic Geology*, 25, 511-527.

Winter, J. D., 2010. *An introduction to igneous and metamorphic petrology*. New

York: Prentice Hall.

Yardley, B. W. 1989. *An introduction to metamorphic petrology*. Prentice Hall. 340p.

10. ANEXOS

10.1 Anexo de Imagens

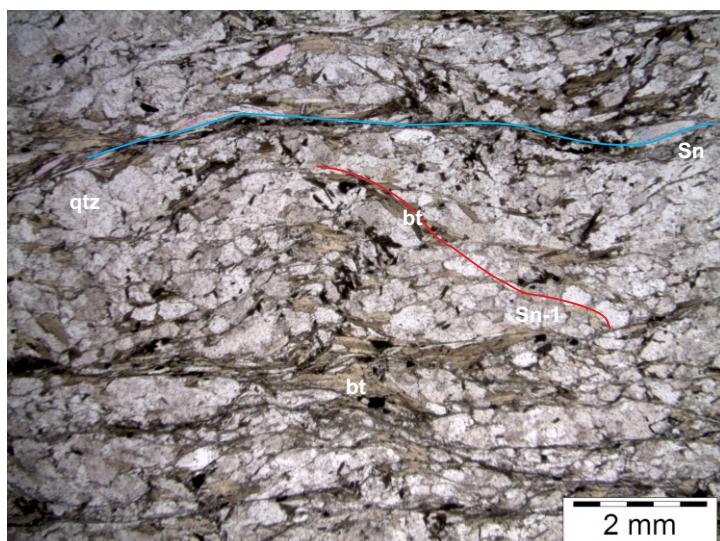


Figura 4: S_{n-1} preservada observada pelo alinhamento de biotita entre a S_n . (Amostra: DR 354) Nicóis //

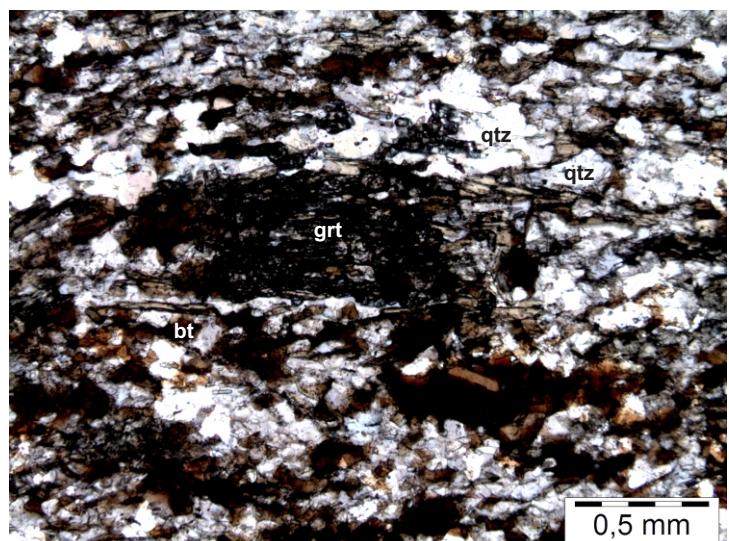
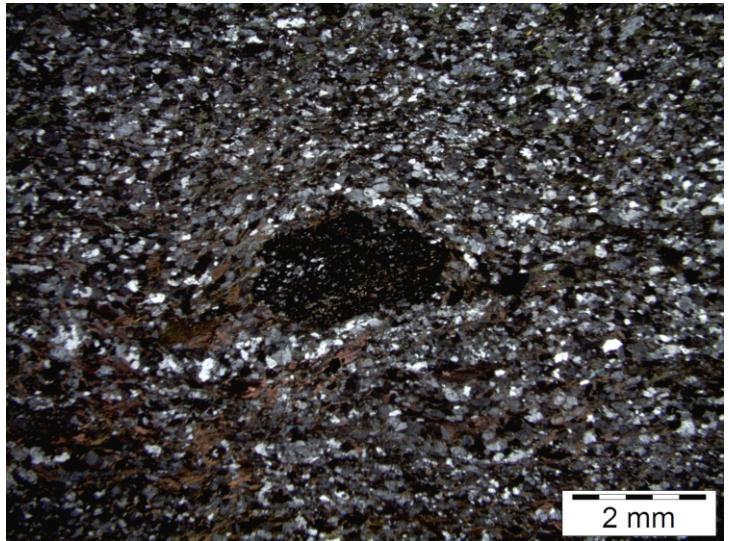
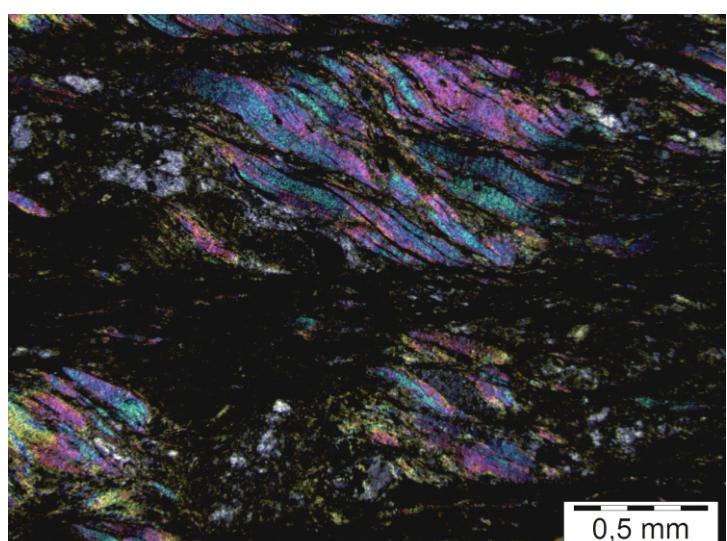
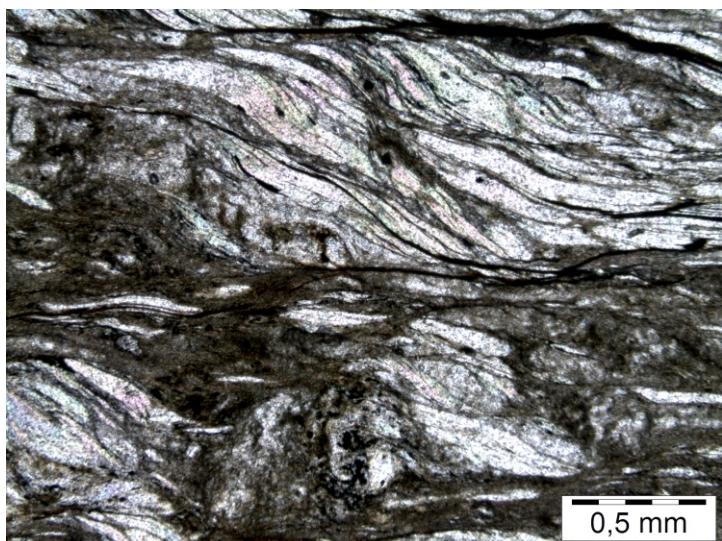


Figura 5: Granada mimetizando biotita. (Amostra: DR 396) Nicóis //.



Figuras 6 e 7: Granada pré-sin cinématica em relação à S_n . (Amostra: DR-150B) Nicóis // e X, respectivamente.



Figuras 8 e 9: Presença de mica fish indicando cisalhamento.(Amostra: SM 587) Nicóis // e X, respectivamente.

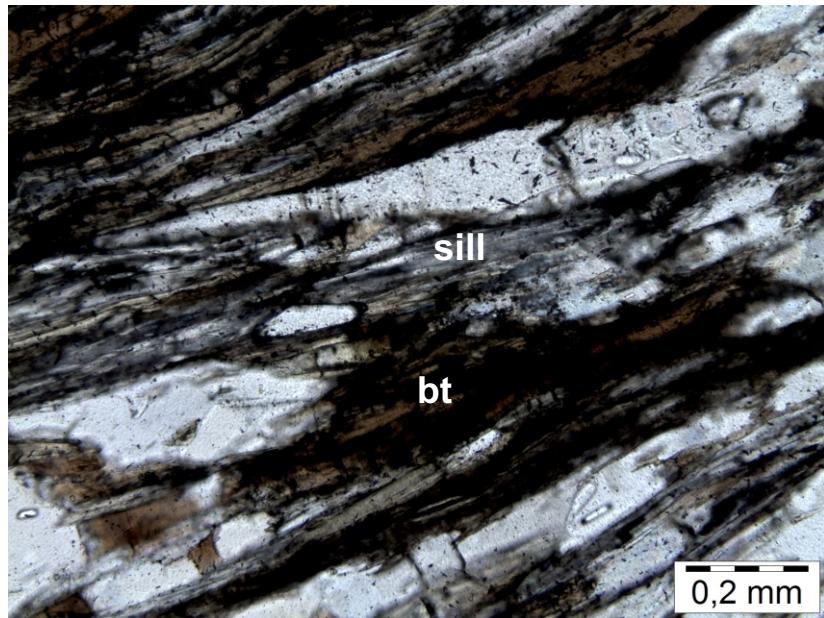
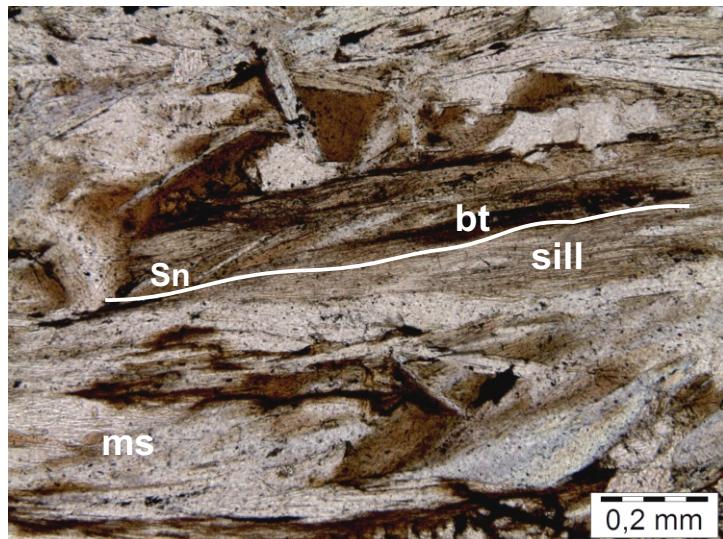
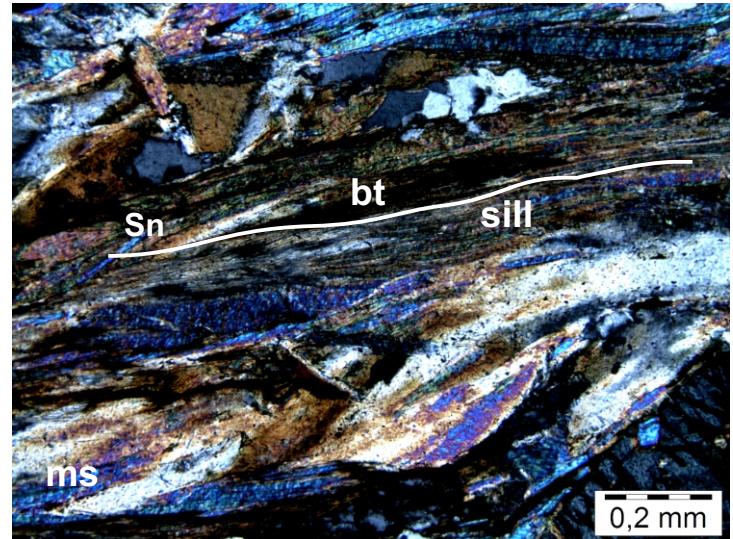
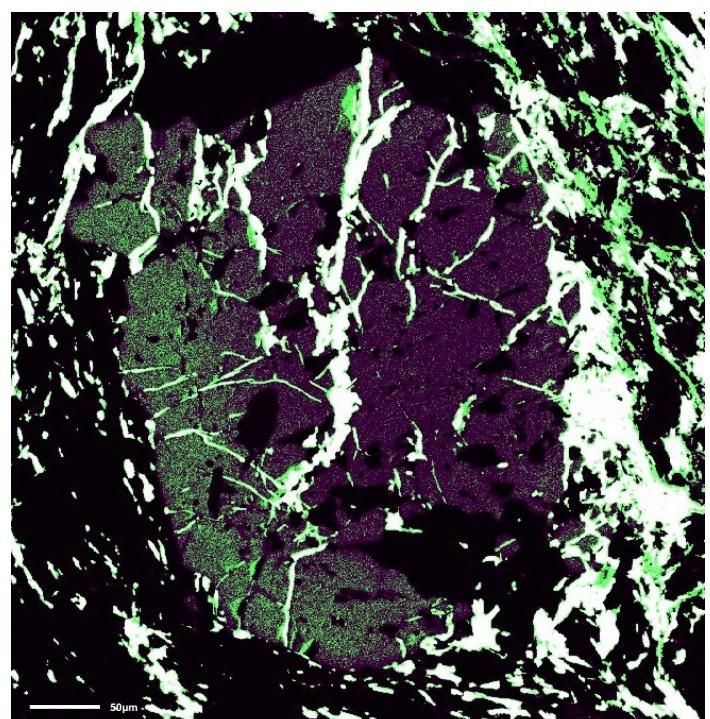
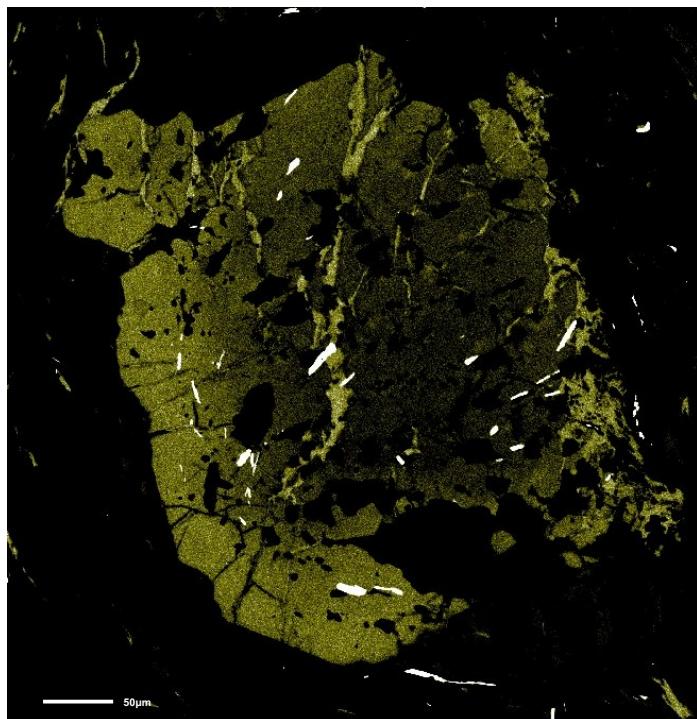
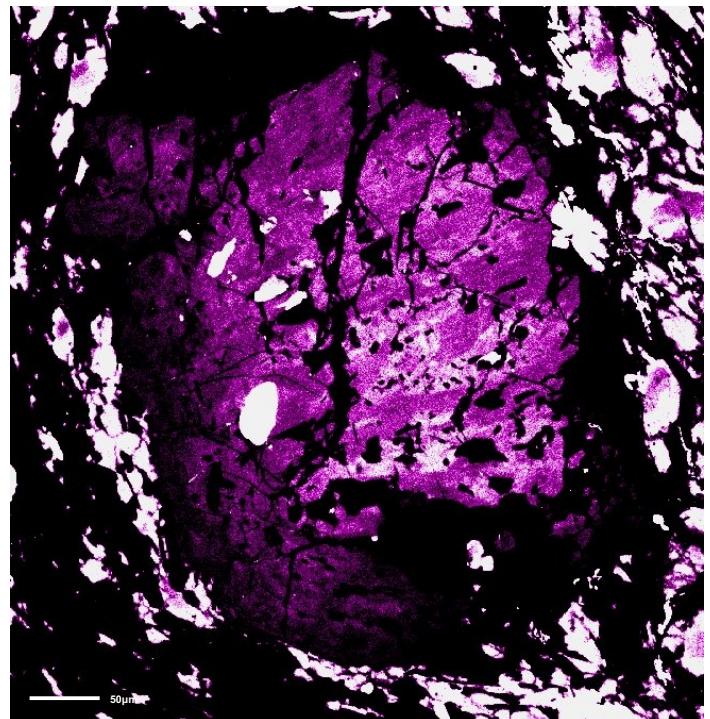
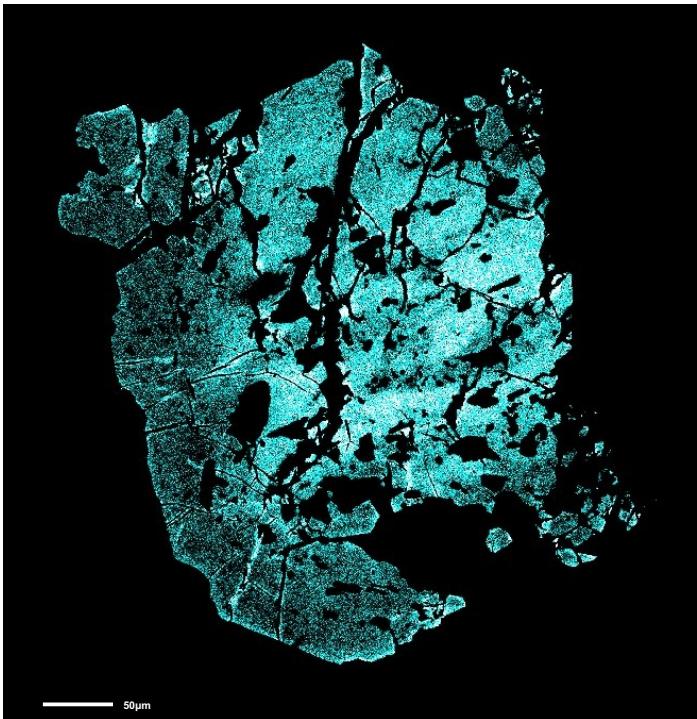


Figura 10: Presença de grãos de sillimanita.(Amostra: DR 349B)
Nicóis //.

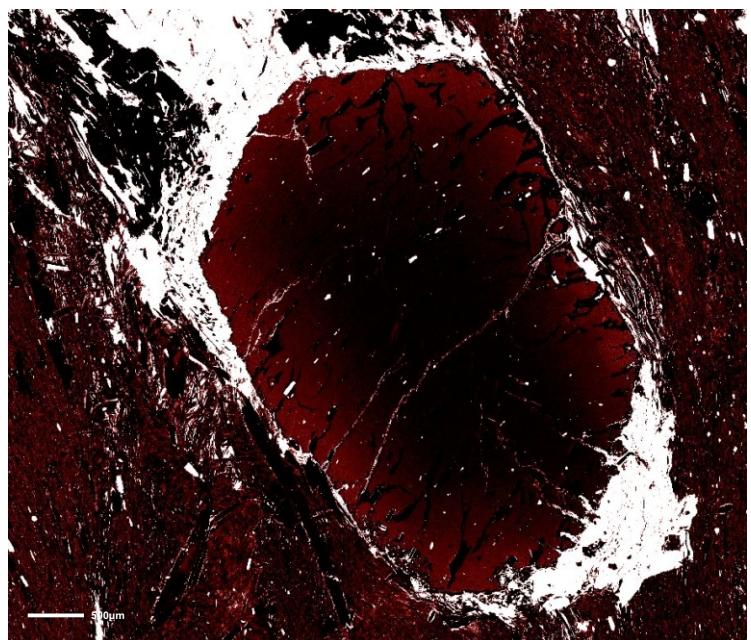
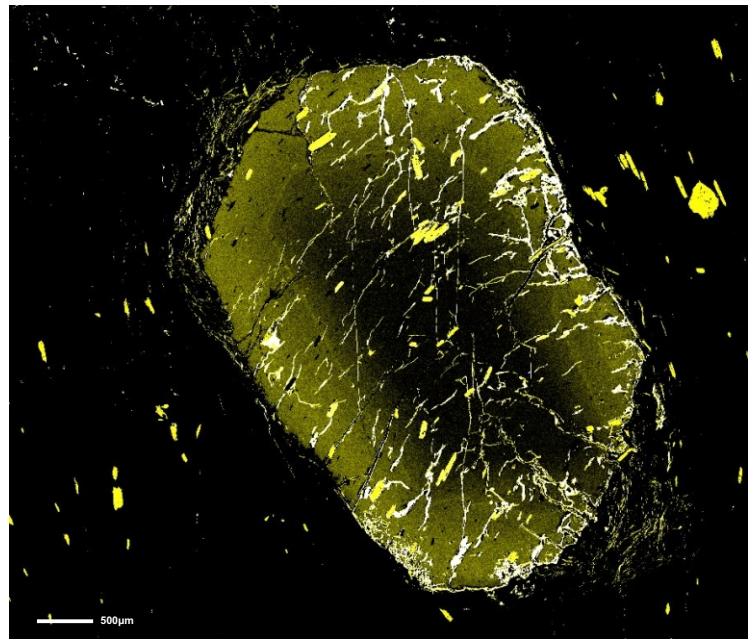
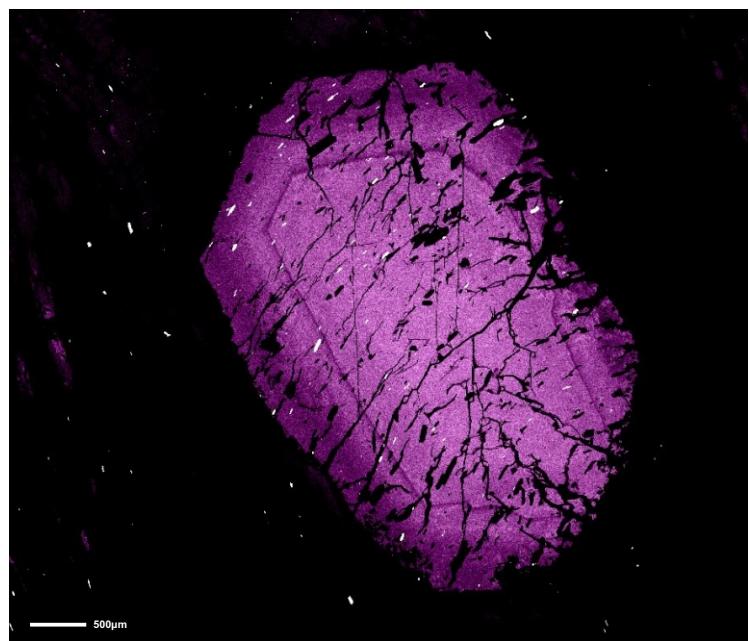
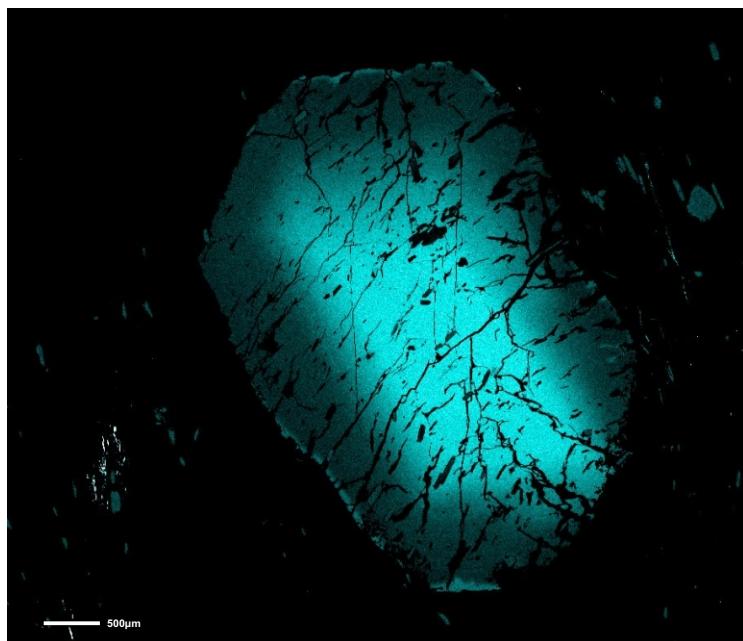


Figuras 11 e 12: Sillimanita (fibrolita) orientada na Sn associada à biotita na amostra DR-151B. Nicóis \|\ e X,
respectivamente.

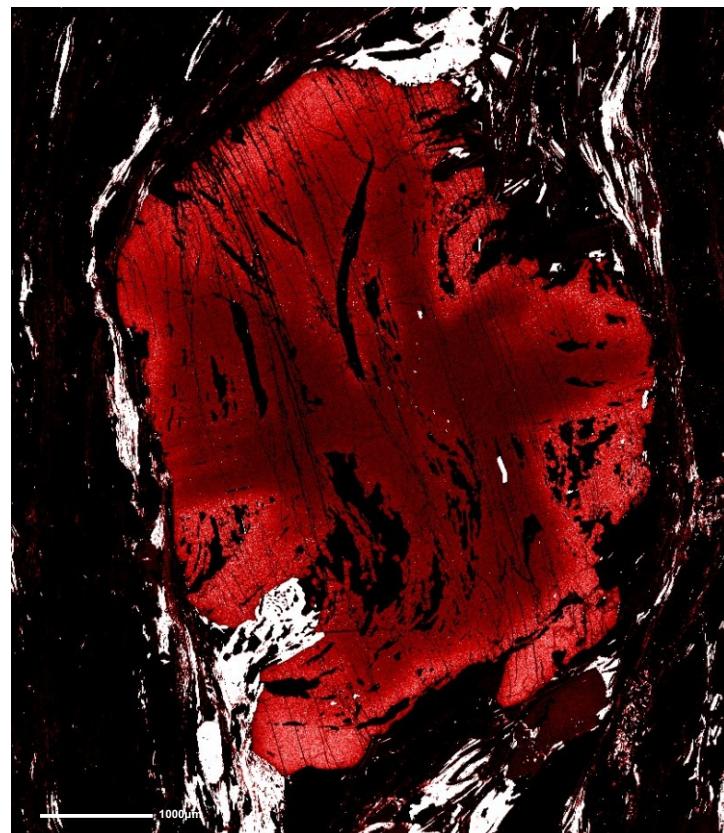
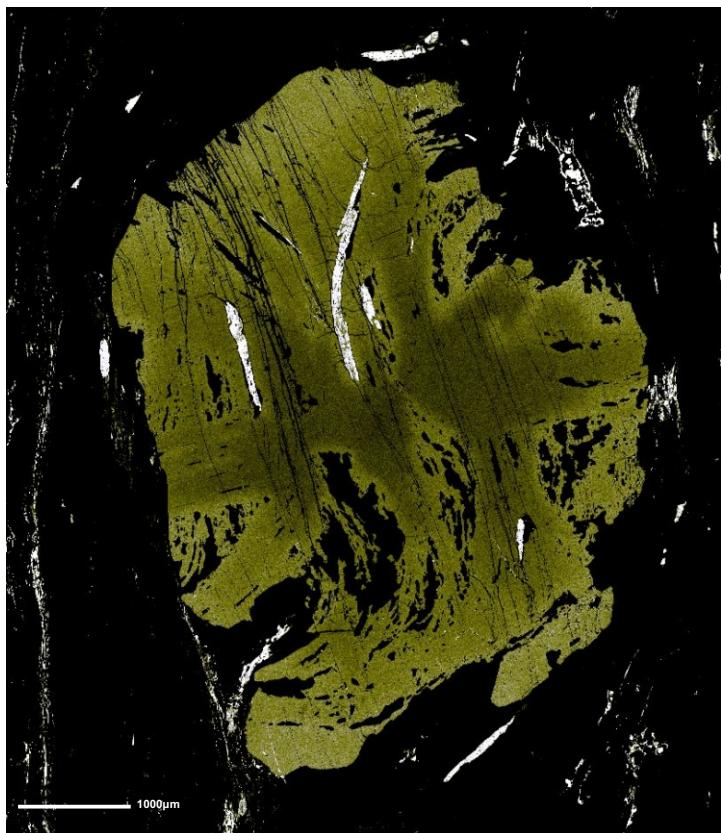
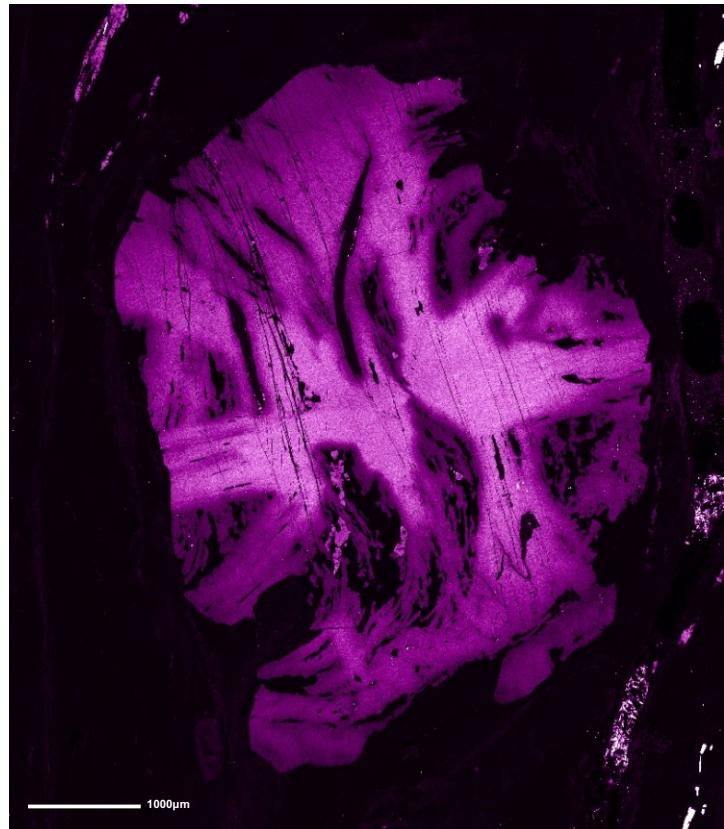
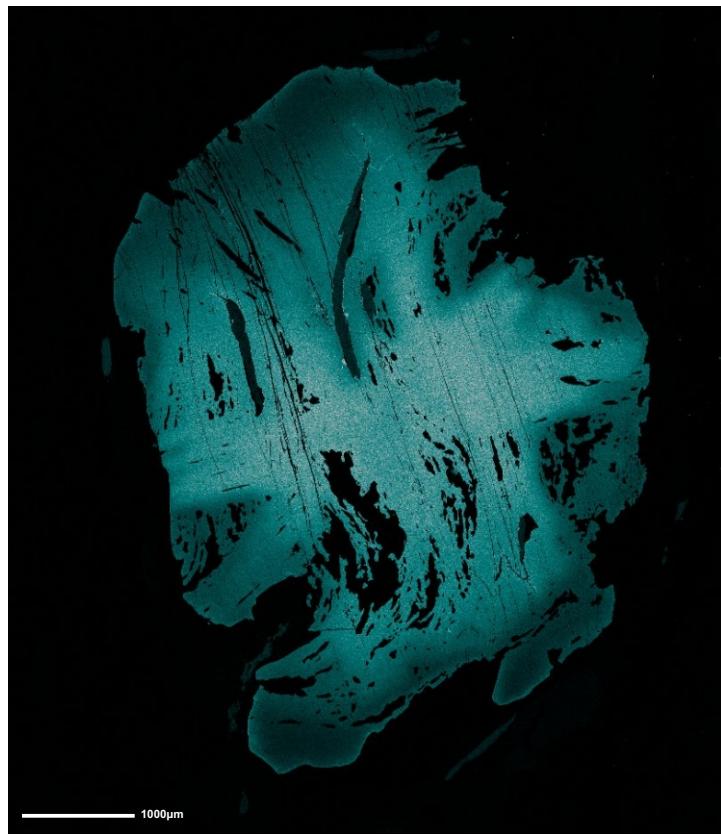




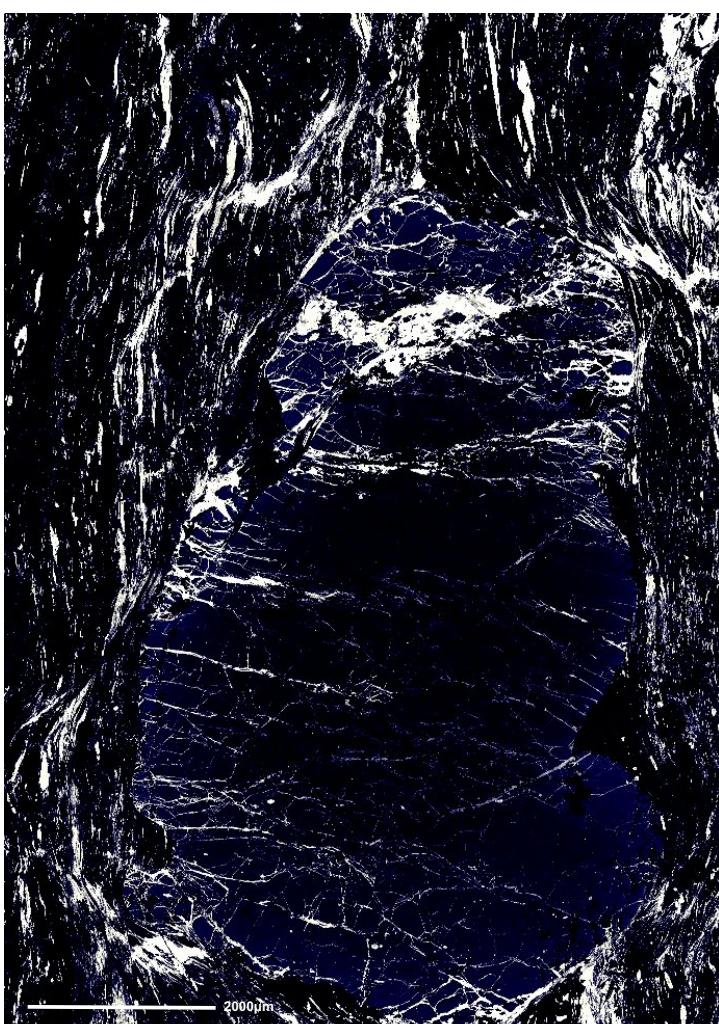
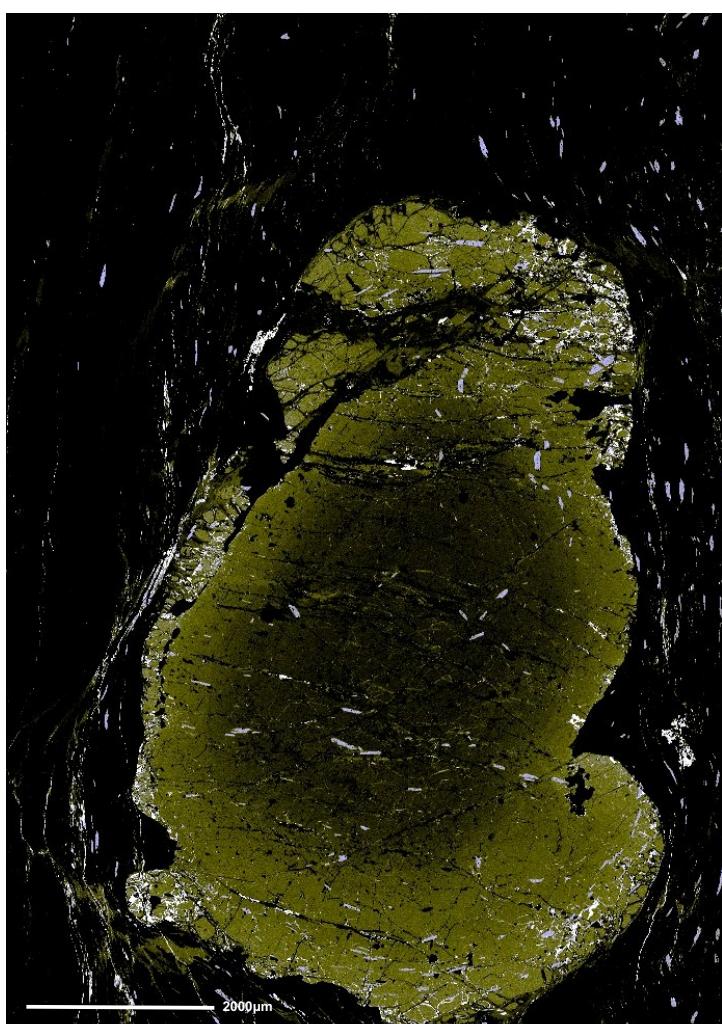
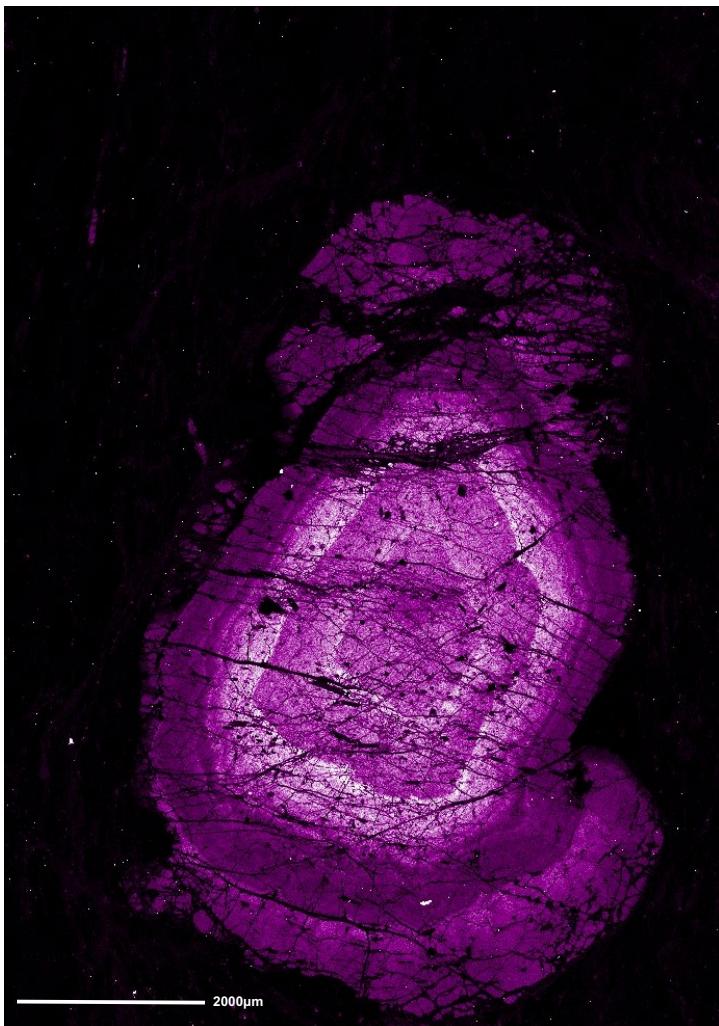
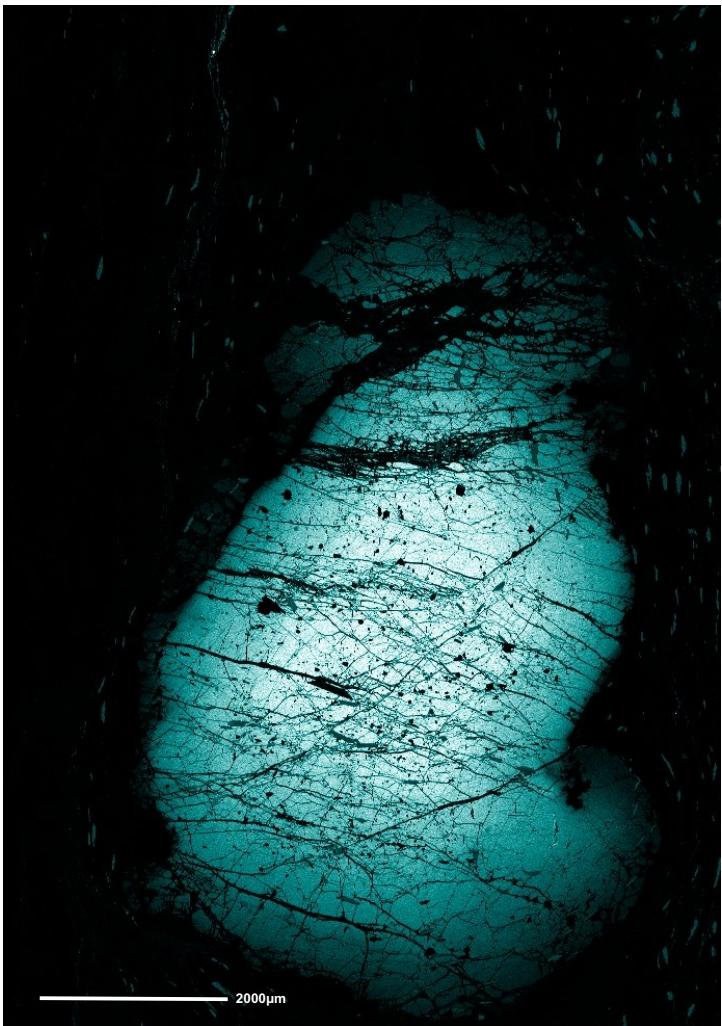
Figuras 17 A-D: Mapas compositionais feito com microssonda eletrônica para os elementos Mn, Ca, Fe e Mg respectivamente (esq-dir, cima-baixo) para grt3 da amostra DR039.



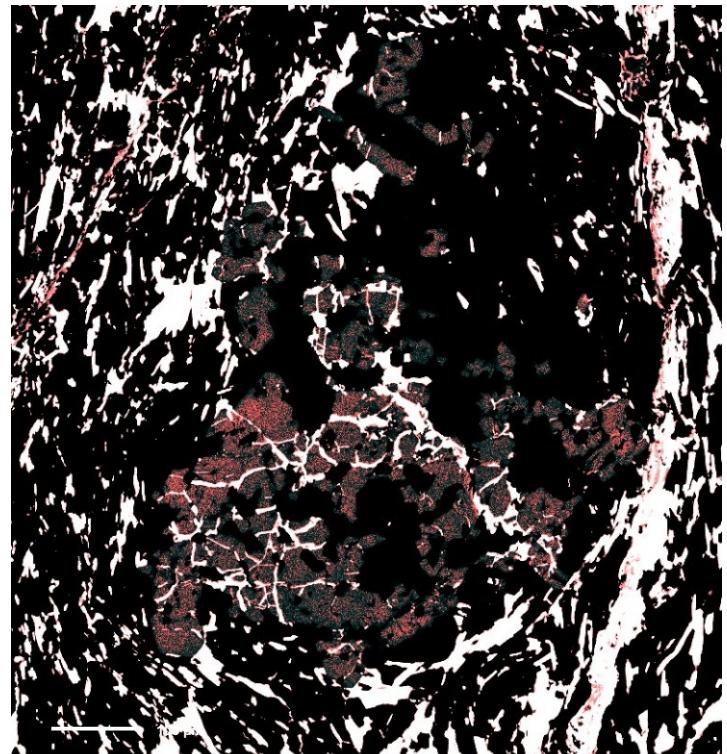
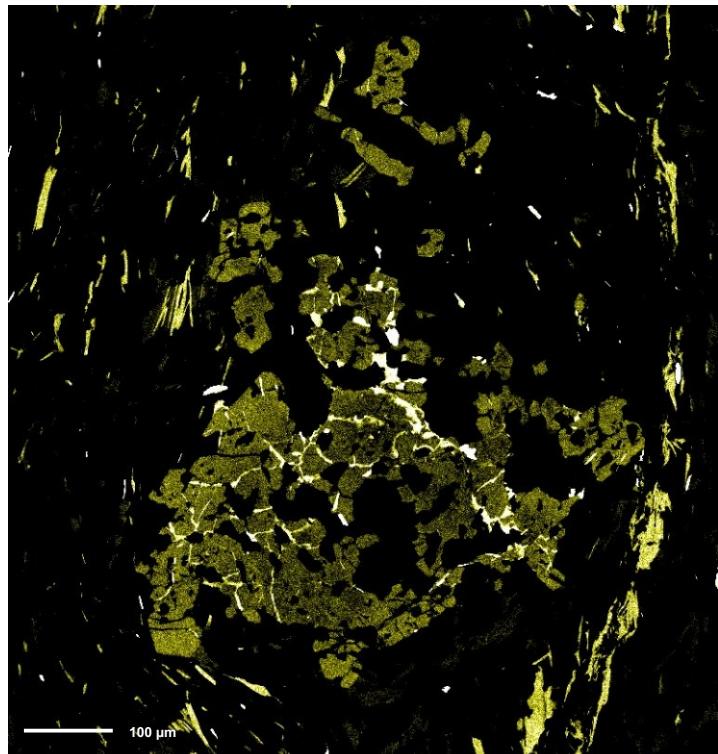
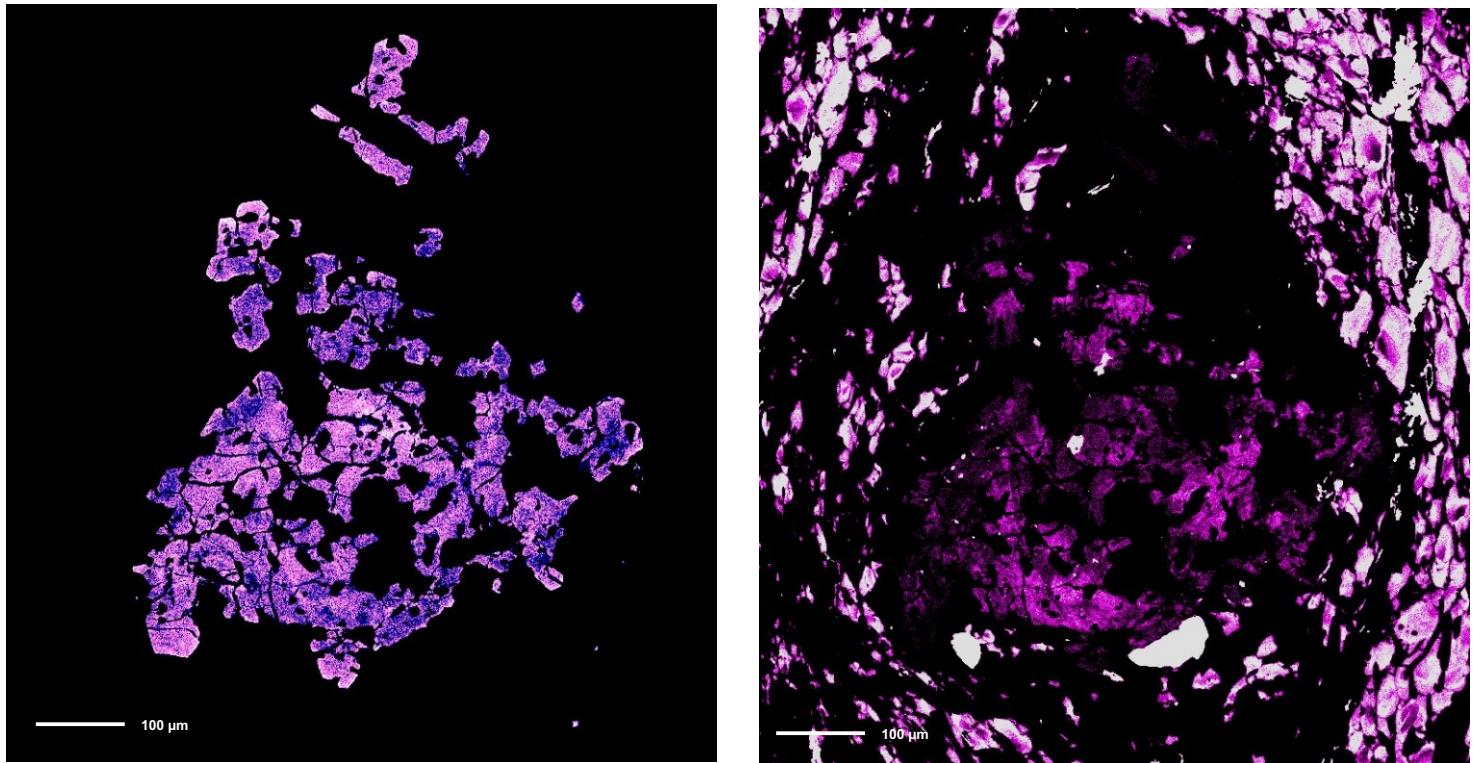
Figuras 18 A-D: Mapas compositionais feito com microssonda eletrônica para os elementos Mn, Ca, Fe e Mg respectivamente (esq-dir, cima-baixo) para grt2 da amostra DR206B.



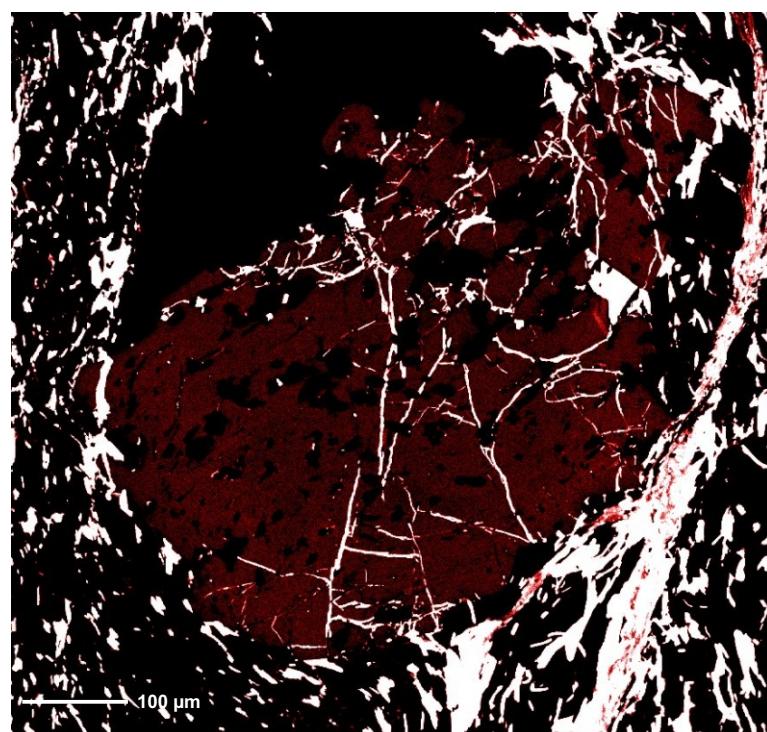
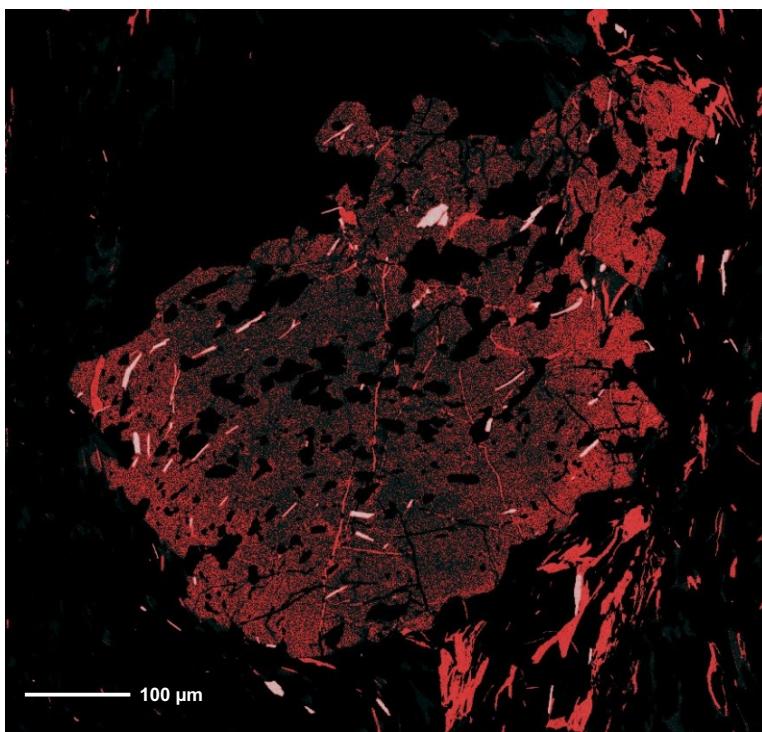
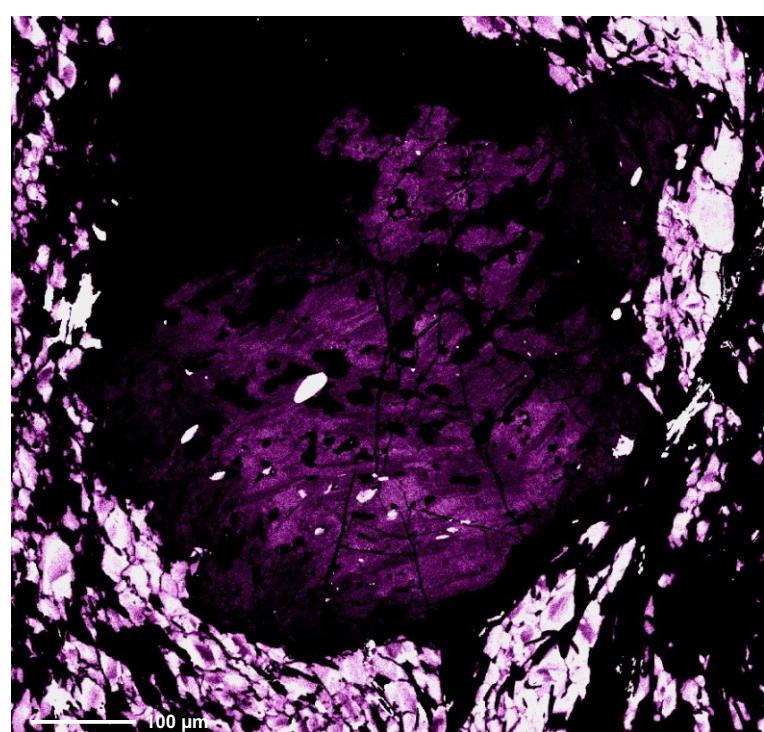
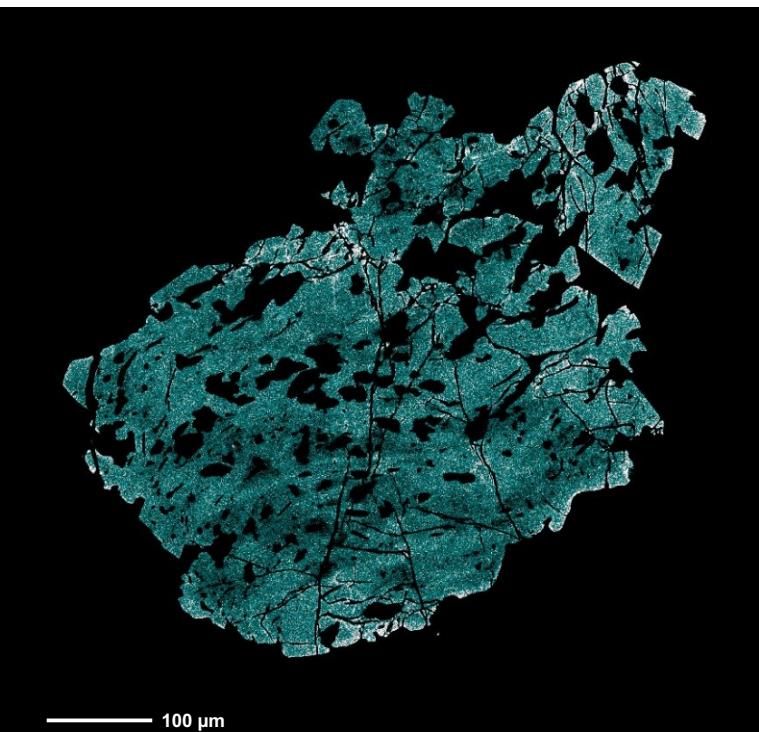
Figuras 19 A-D: Mapas compositionais feito com microssonda eletrônica para os elementos Mn, Ca, Fe e Mg respectivamente (esq-dir, cima-baixo) para grt1 da amostra DR349B.



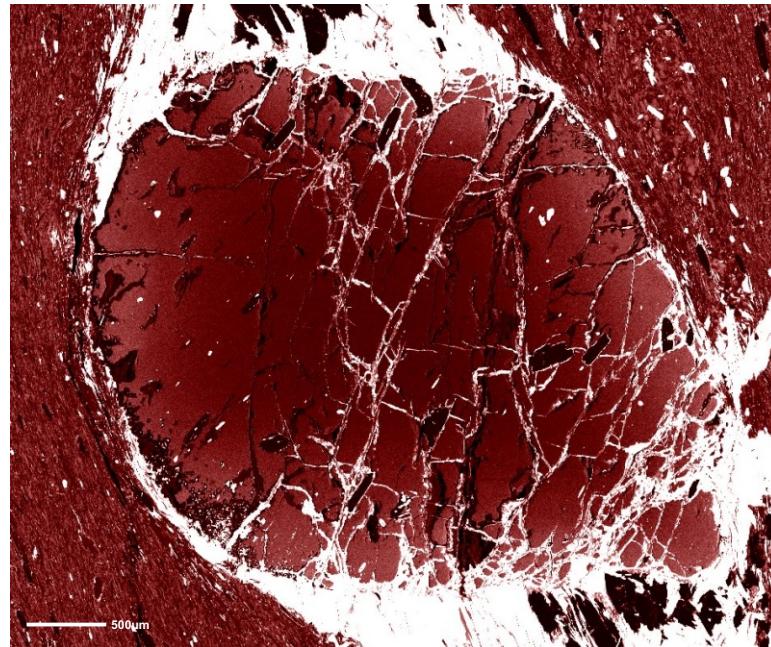
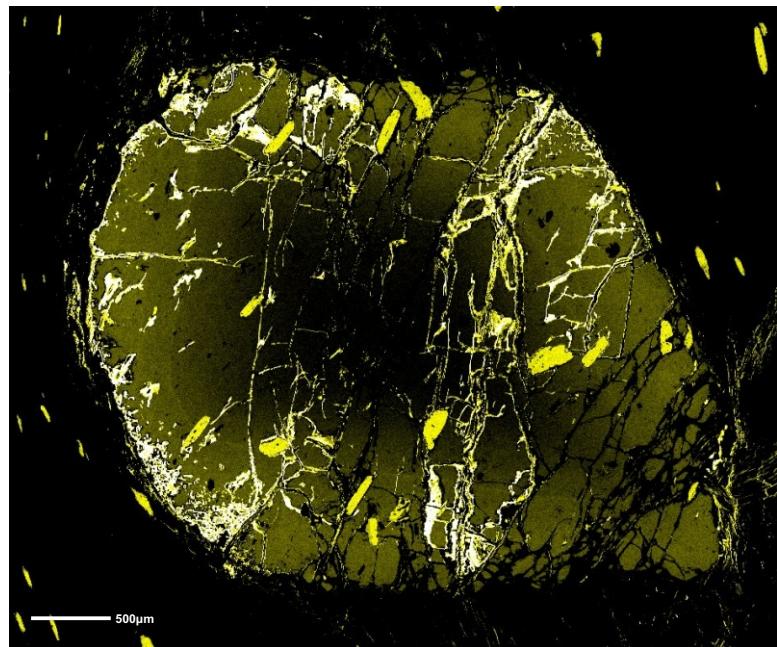
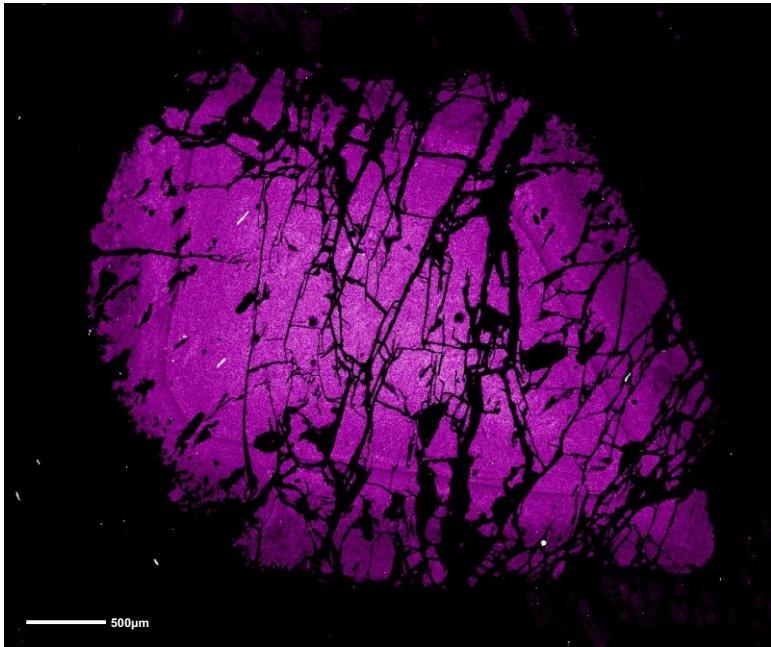
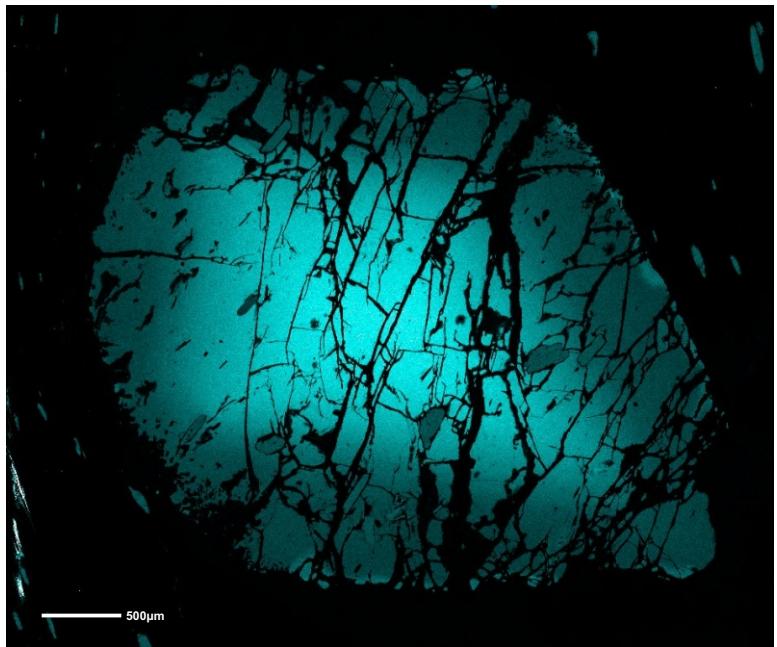
Figuras 20 A-D: Mapas compositionais feito com microssonda eletrônica para os elementos Mn, Ca, Fe e Mg respectivamente (esq-dir, cima-baixo) para grt2 da amostra SM528A.



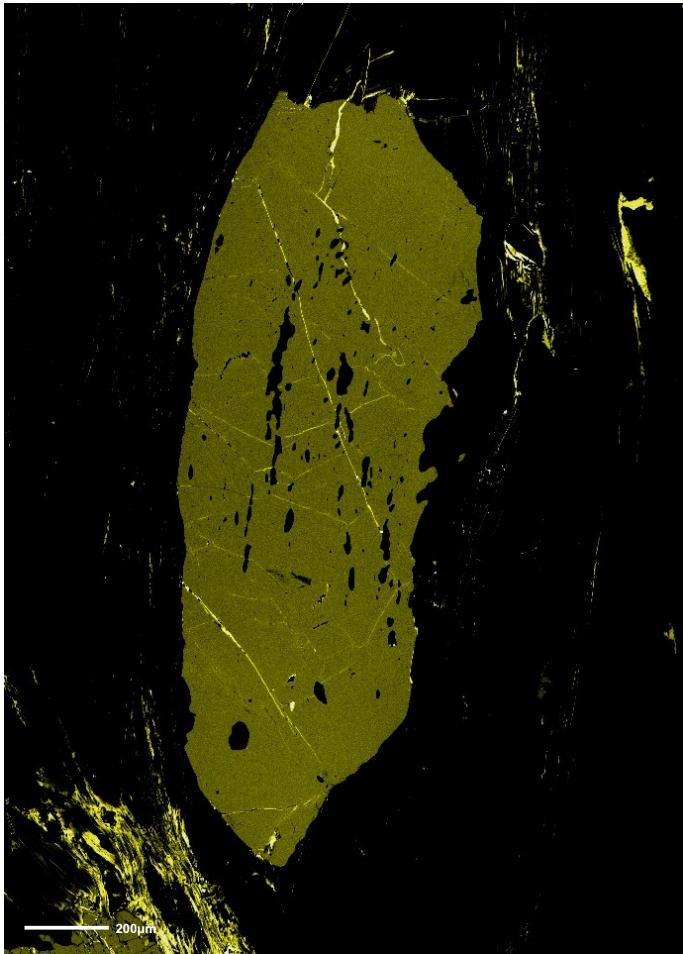
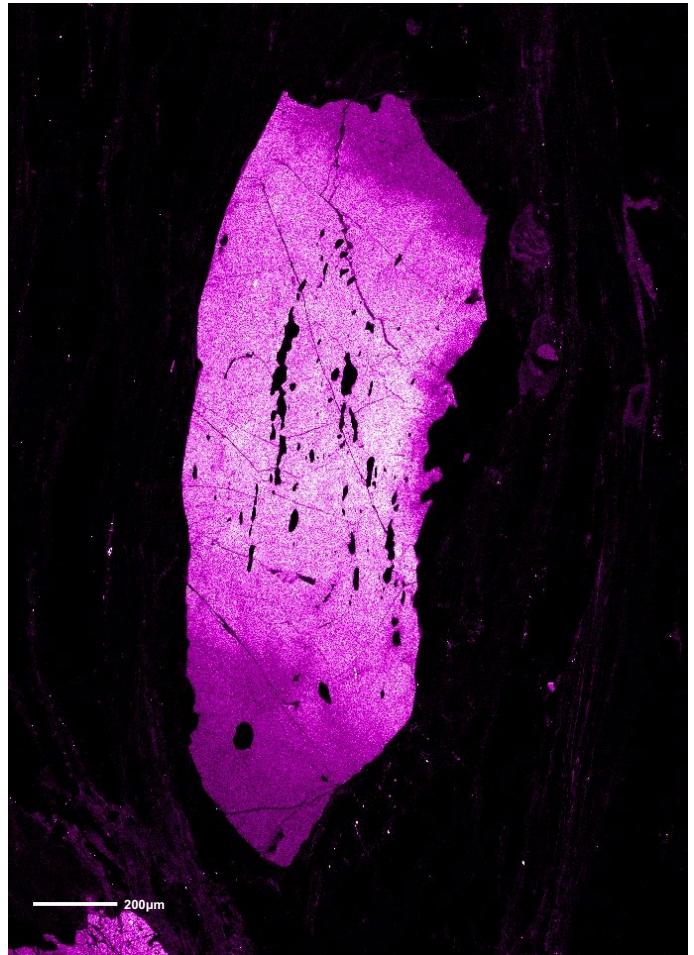
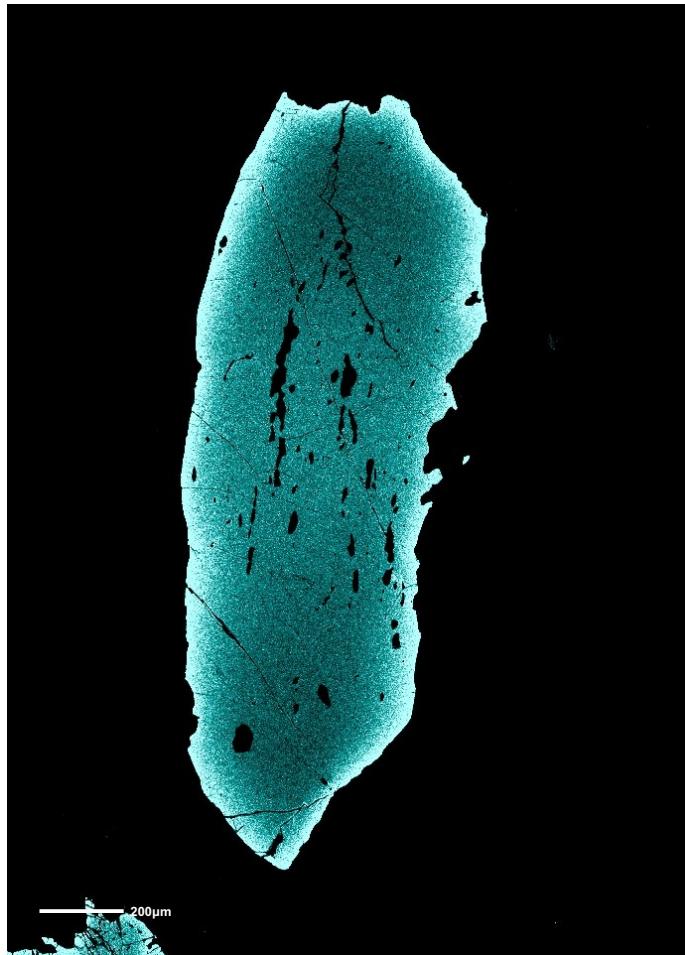
Figuras 21 A-D: Mapas compositionais feito com microssonda eletrônica para os elementos Mn, Ca, Fe e Mg respectivamente (esq-dir, cima-baixo) para grt2 da amostra DR039.



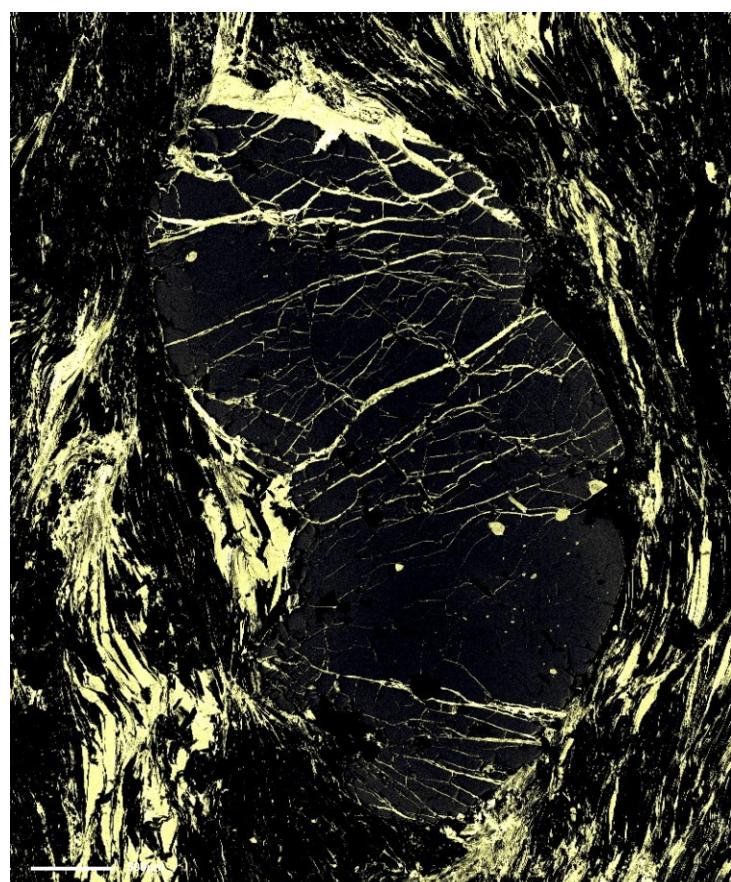
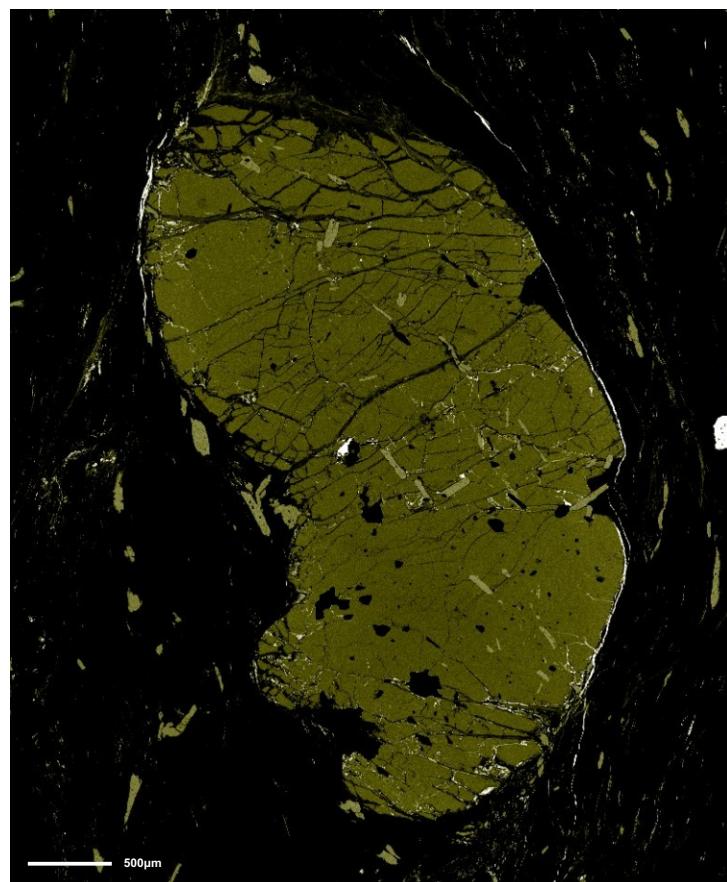
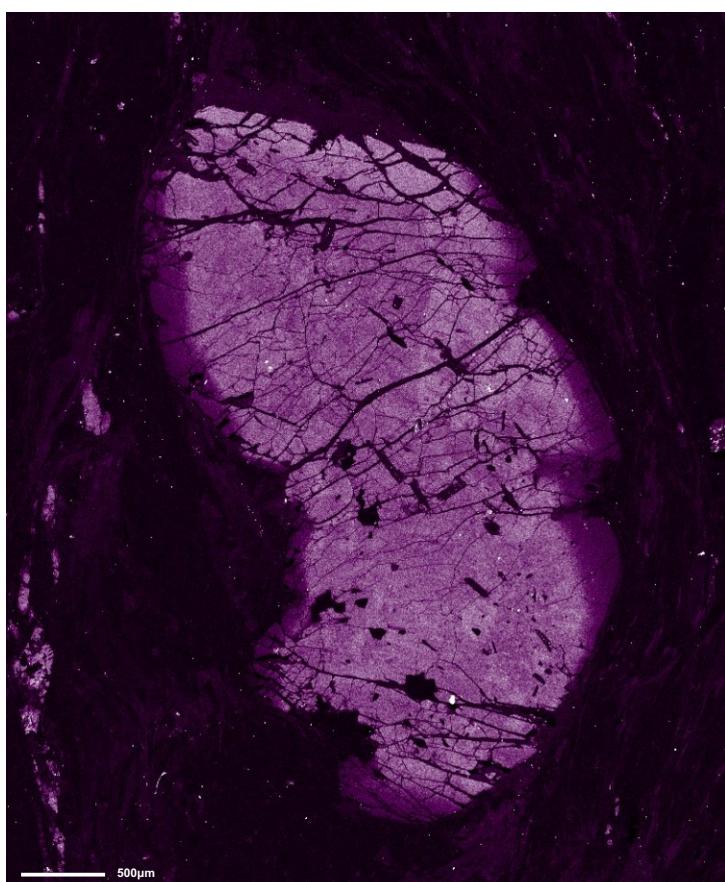
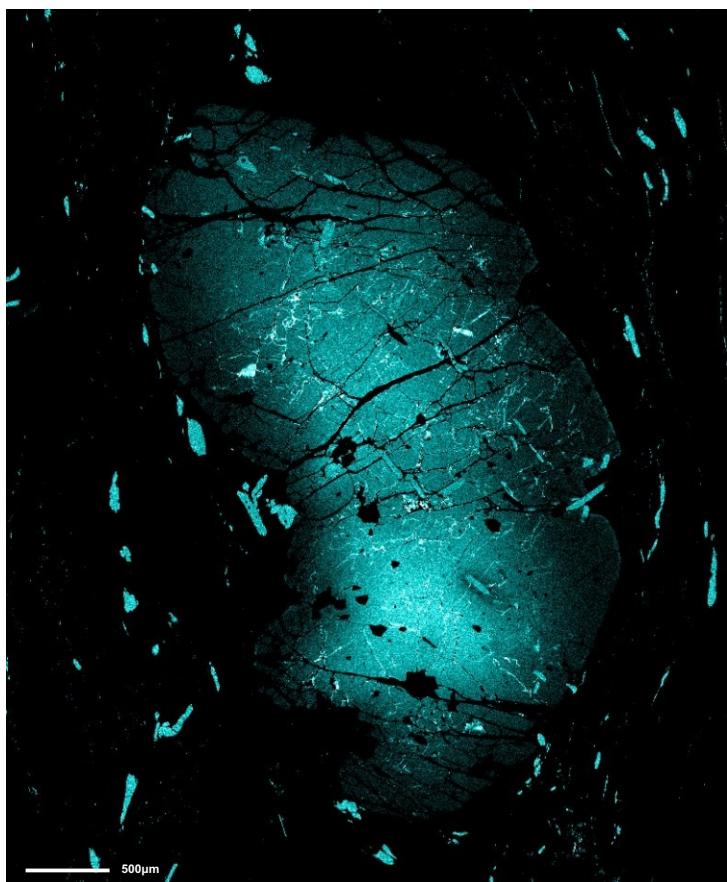
Figuras 22 A-D: Mapas compositionais feito com microssonda eletrônica para os elementos Mn, Ca, Fe e Mg respectivamente (esq-dir, cima-baixo) para grt1 da amostra DR039.



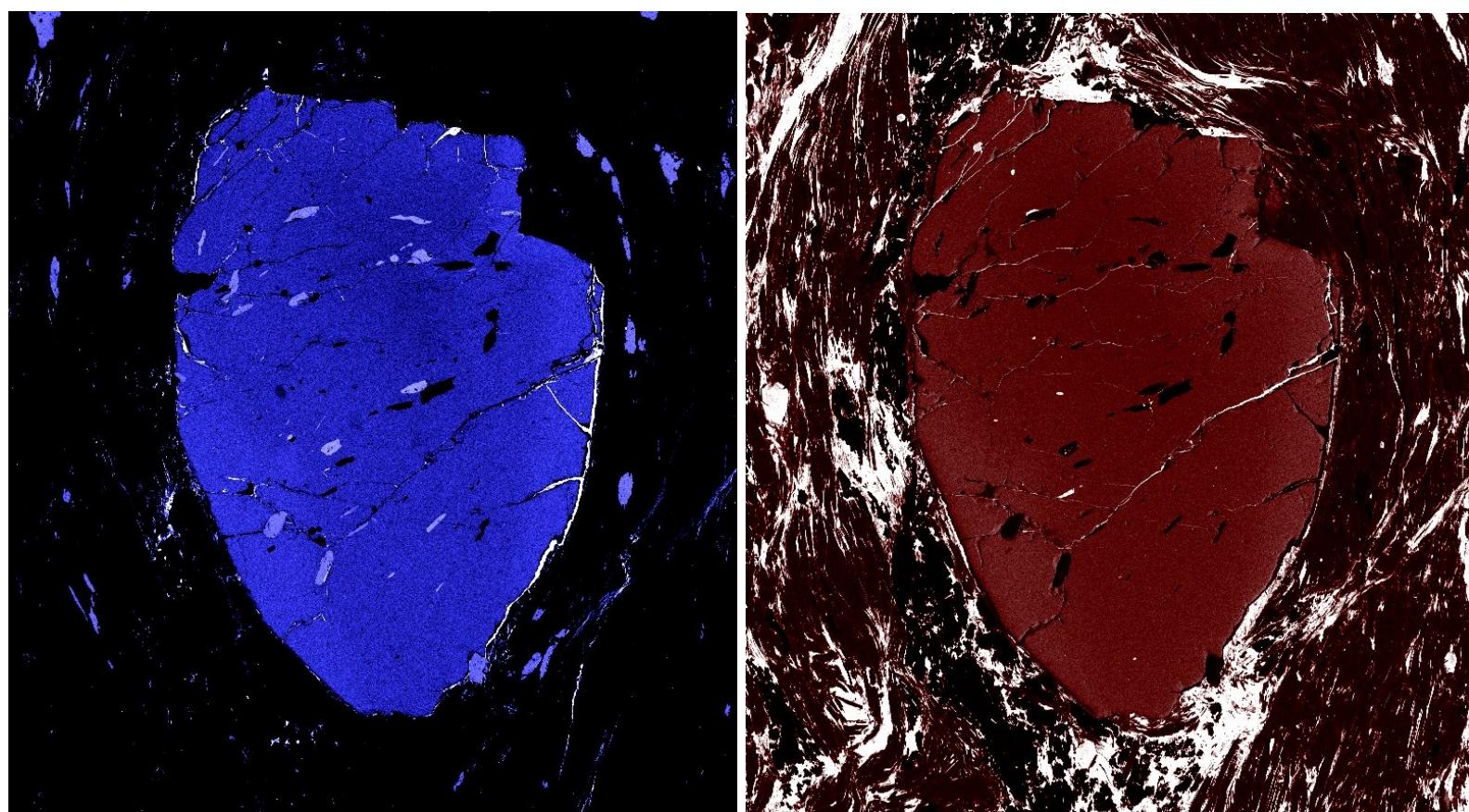
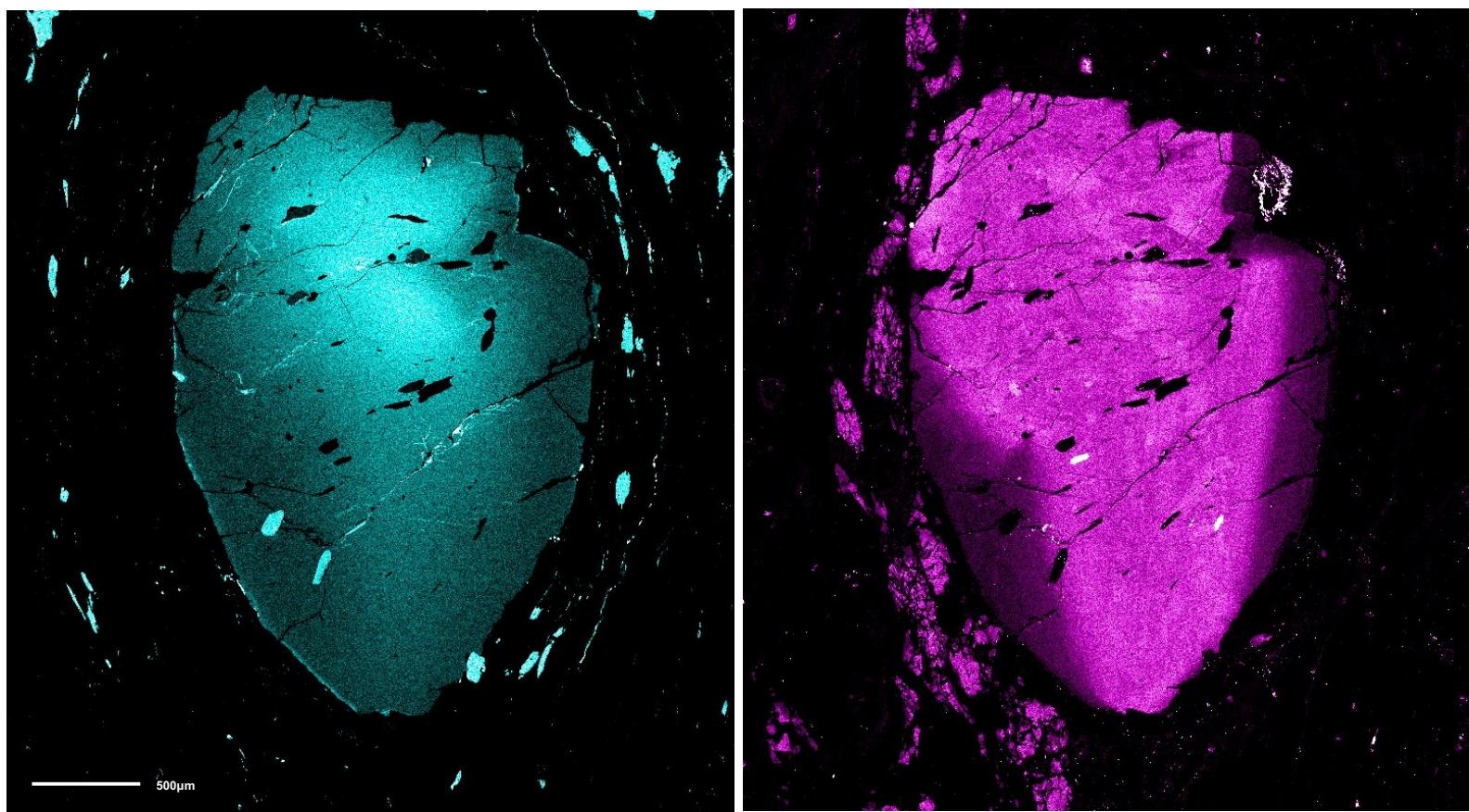
Figuras 23 A-D: Mapas compositionais feito com microssonda eletrônica para os elementos Mn, Ca, Fe e Mg respectivamente (esq-dir, cima-baixo) para grt1 da amostra DR206B.



Figuras 24 A-D: Mapas compositionais feito com microssonda eletrônica para os elementos Mn, Ca, Fe e Mg respectivamente (esq-dir, cima-baixo) para grt2 da amostra DR349B.



Figuras 25 A-D: Mapas compostionais feito com microssonda eletrônica para os elementos Mn, Ca, Fe e Mg respectivamente (esq-dir, cima-baixo) para grt1 da amostra SM528A.



Figuras 26 A-D: Mapas compositionais feito com microssonda eletrônica para os elementos Mn, Ca, Fe e Mg respectivamente (esq-dir, cima-baixo) para grt3 da amostra SM528A.

10.2 Anexo de Tabelas

Tabela 3: Resumo composicional feito por estimativa visual das amostras descritas por petrografia.

Amostra	Ms	Qtz	Bt	Grt	Pl	Kfs	Sil	St	Chl	Ep	Op	Rt	Ap
SM-586A	15	30	20	-	20	-	-	-	10	5	-	-	-
DR-359	65	20	5	-	-	-	-	-	5	tr	5	-	-
M-137	35	25	20	-	5	-	-	-	5	-	10	-	-
DR-188	25	25	10	-	10	-	-	-	16	2	12	-	-
DR-187B	30	35	20	-	-	-	-	-	12	tr	3	-	-
DR-354	4	25	21	-	40	10	-	-	-	-	tr	-	-
SM-590	17	25	-	8	15	-	-	-	15	-	15	5	-
DR-148B	45	30	10	5	10	-	-	-	-	-	-	-	-
DR-150B	6	20	33	3	30	-	-	-	-	-	8	-	-
SM-587	35	30	8	5	22	-	-	-	-	-	-	-	-
SM-598B	27	30	5	10	18	-	-	-	-	-	10	-	-
DR-206A	30	20	18	15	15	-	-	-	-	-	2	-	-
DR-206B	30	20	25	12	13	-	-	-	-	-	-	-	-
SM-528A	40	15	30	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DR-144B	25	40	10	10	7	-	-	-	8	-	-	-	-
DR-149	-	30	35	3	28	-	-	-	4	-	-	-	tr
DR-396	2	35	25	8	19	-	-	-	8	-	3	-	-
DR-039	10	20	20	8	15	-	-	-	15	tr	12	-	-
SM-591B	36	20	10	10	-	-	-	20	-	-	4	-	-
SM-592	25	15	10	13	15	-	-	12	10	-	-	-	-
DR-151A	30	22	15	15	5	-	3	10	-	-	-	-	-
DR-151B	40	20	10	7	5	-	3	15	-	-	-	-	-
DR-349B	30	25	20	10	0	-	5	10	-	-	-	-	-

Tabela 3.1: Resumo dos dados obtidos em petrografia

Amostra	Litotipo	Paragênese	Zona metamórfica	T inferida
SM-586A	Chl-ms-pl-bt-qtz xisto com ep	chl bt ep	Zona da Biotita	< 450°C
DR-359	Qtz-ms xisto com bt e chl	bt chl	Zona da Biotita	< 450°C
M-137	Pl-chl-bt-qtz-ms xisto	bt chl	Zona da Biotita	< 450°C
DR-188	Pl-bt-chl-qtz-ms xisto com ep	bt chl ep	Zona da Biotita	< 450°C
DR-187B	Chl-bt-ms-qtz xisto	bt chl	Zona da Biotita	< 450°C
DR-354	Ms-bt-qtz-pl xisto	bt	Zona da Biotita	< 450°C
SM-590	Grt-pl-chl-ms-qtz xisto	grt bt chl	Zona da Granada	550-630°C
DR-148B	Grt-bt-qtz-ms xisto	grt bt	Zona da Granada	550-630°C
DR-150B	Ms-qtz-pl-bt xisto com grt	grt bt	Zona da Granada	550-630°C
SM-587	Grt-bt-pl-qtz-ms xisto	grt bt	Zona da Granada	550-630°C
SM-598B	Bt-grt-pl-ms-qtz xisto	grt bt	Zona da Granada	550-630°C
DR-206A	Grt-pl-bt-qtz-ms xisto	grt bt	Zona da Granada	550-630°C
DR-206B	Grt-pl-qtz-bt-ms xisto	grt bt	Zona da Granada	550-630°C
SM-528A	Grt-qtz-bt-ms	grt bt	Zona da Granada	550-630°C
DR-144B	Pl-chl-grt-bt-ms-qtz	grt bt chl	Zona da Granada	550-630°C
DR-149	Pl-qtz-bt xisto com grt e chl	grt bt chl	Zona da Granada	550-630°C
DR-396	Chl-grt-pl-bt-qtz xisto com ms	grt bt chl	Zona da Granada	550-630°C
DR-039	Grt-ms-chl-pl-bt-qtz xisto	grt bt chl	Zona da Granada	550-630°C
SM-591B	Grt-bt-st-qt-ms xisto	st grt bt	Zona da Estaurolita	550-630°C
SM-592	Chl-bt-st-grt-pl-qtz-ms xisto	st grt bt	Zona da Estaurolita	550-630°C
DR-151A	Pl-st-grt-btqtz-ms xisto com sill	sill st grt bt	Zona da Sillimanita	620-690°C
DR-151B	Pl-grt-bt-st-qtz-ms xisto com sill	sill st grt bt	Zona da Sillimanita	620-690°C
DR-349B	Sill-grt-st-bt-qtz-ms xisto	sill st grt bt	Zona da Sillimanita	620-690°C

Tabela 4- Parâmetros e padrões utilizados nas análises de química mineral feitos com Microssonda Eletrônica.

Biotita-Muscovita-Clorita					
Elemento	Linha	Cristal	Pico	Background	Padrão
Si	Ka	TAP	10.0	5.0	Diopsídio
Al	Ka	TAP	15.0	7.5	Anortoclásio
Fe	Ka	LIFL	10.0	5.0	Fayalita
Mn	Ka	LIFL	20.0	10.0	Fayalita
Zn	Ka	LIFL	30.0	15.0	Willemita
Cl	Ka	PETJ	10.0	5.0	Sodalita
K	Ka	PETJ	10.0	5.0	Ortoclásio
Ca	Ka	PETJ	10.0	5.0	Wollastonita
Ti	Ka	LIFL	10.0	5.0	Rutilo
Ba	La	LIFL	30.0	15.0	Benitíte
Cr	Ka	LIFL	10.0	5.0	Cromita
F	Ka	TAPH	10.0	5.0	Fluorapatita
Na	Ka	TAPH	10.0	5.0	Albita
Mg	Ka	TAPH	10.0	5.0	Diopsídio
Plagioclásio					
Si	Ka	TAP	10.0	5.0	Anortoclásio
Al	Ka	TAP	15.0	7.5	Anortoclásio
Fe	Ka	LIFL	10.0	5.0	Fayalita
Mn	Ka	LIFL	40.0	20.0	Fayalita
K	Ka	PETJ	10.0	5.0	Ortoclásio
Ca	Ka	PETJ	10.0	5.0	Wollastonita
Sr	La	PETJ	40.0	20.0	Estroncianita
Ti	Ka	LIFL	10.0	5.0	Rutilo
Ba	La	LIFL	20.0	10.0	Benitíte
Na	Ka	TAPH	5.0	2.5	Albita
Mg	Ka	TAPH	10.0	5.0	Diopsídio
Estaurolita					
Si	Ka	TAP	10.0	5.0	Diopsídio
Al	Ka	TAP	20.0	10.0	Anortita
Fe	Ka	LIFL	10.0	5.0	Fayalita
Mn	Ka	LIFL	20.0	10.0	Fayalita
K	Ka	PETJ	10.0	5.0	Ortoclásio
Ca	Ka	PETJ	10.0	5.0	Wollastonita
Ti	Ka	LIFL	10.0	5.0	Rutilo
Cr	Ka	LIFL	20.0	10.0	Cromita
Zn	Ka	LIFL	40.0	20.0	Willemita
Mg	Ka	TAPH	10.0	5.0	Diopsídio
Na	Ka	TAPH	20.0	10.0	Albita
Granada					
Si	Ka	TAP	10.0	5.0	Grossulária
Al	Ka	TAP	20.0	10.0	Piropo
Fe	Ka	LIFL	10.0	5.0	Fayalita
Mn	Ka	LIFL	40.0	20.0	Fayalita
Ca	Ka	PETJ	10.0	5.0	Wollastonita
Ti	Ka	LIFL	20.0	10.0	Rutilo
Cr	Ka	LIFL	30.0	15.0	Cromita
Mg	Ka	TAPH	15.0	7.5	Piropo

Tabela 5: Fórmulas estruturais e proporções moleculares médias para cada grão de granada analisado.

Amostra	Grão	Fórmula estrutural e proporções moleculares médias
DR 396	grt1	(Fe ²⁺ _{1,891-2,016} , Mn _{0,035-0,046} , Mg _{0,388-0,444} , Ca _{0,394-0,455}) (Al _{1,998-2,037} , Ti _{0,003-0,020} , Cr _{0,000-0,003}) Si _{3,042-3,067} O ₁₂ Alm 67,63%-70,03%, Prp 13,44%-15,62%, Grs 13,81%-16,27%, Sps 1,22%-1,65%, Uv 0,00%-0,15%
	grt2	(Fe ²⁺ _{1,869-1,962} , Mn _{0,040-0,055} , Mg _{0,416-0,466} , Ca _{0,340-0,508}) (Al _{2,008-2,037} , Ti _{0,000-0,008} , Cr _{0,000-0,002}) Si _{3,053-3,086} O ₁₂ Alm 65,42%-69,62%, Prp 14,80%-16,68%, Grs 12,07%-17,69%, Sps 1,40%-1,97%, Uv 0,00%-0,10%
	grt3	(Fe ²⁺ _{2,026-2,131} , Mn _{0,044-0,070} , Mg _{0,346-0,454} , Ca _{0,205-0,325}) (Al _{2,012-2,062} , Ti _{0,000-0,012} , Cr _{0,000-0,002}) Si _{3,042-3,104} O ₁₂ Alm 71,11%-77,01%, Prp 12,83%-15,94%, Grs 7,53%-11,31%, Sps 1,54%-2,56%, Uv 0,00%-0,10%
DR 039	grt1	(Fe ²⁺ _{1,429-1,507} , Mn _{0,957-0,991} , Mg _{0,128-0,138} , Ca _{0,381-0,469}) (Fe ³⁺ _{0,000-0,033} , Al _{1,991-2,012} , Ti _{0,008-0,016} , Cr _{0,000-0,001}) Si _{2,971-2,992} O ₁₂ Alm 47,87%-50,25%, Prp 4,29%-4,62%, Grs 12,18%-14,04%, Sps 32,06%-33,18%, And 0,00%-1,63%, Uv 0,00%-0,05%
	grt2	(Fe ²⁺ _{1,311-1,588} , Mn _{0,901-0,976} , Mg _{0,107-0,176} , Ca _{0,359-0,569}) (Fe ³⁺ _{0,000-0,170} , Al _{1,981-2,211} , Ti _{0,005-0,096} , Cr _{0,000-0,006}) Si _{2,804-3,005} O ₁₂ Alm 45,33%-53,18%, Prp 3,81%-5,92%, Grs 7,66%-16,96%, Sps 30,17%-34,73%, And 0,00%-7,14%, Uv 0,00%-0,30%
	grt3	(Fe ²⁺ _{1,339-1,622} , Mn _{0,925-1,116} , Mg _{0,122-0,162} , Ca _{0,259-0,500}) (Fe ³⁺ _{0,000-0,030} , Al _{1,969-2,029} , Ti _{0,001-0,032} , Cr _{0,000-0,004}) Si _{2,969-3,049} O ₁₂ Alm 44,86%-54,63%, Prp 4,09%-5,43%, Grs 8,63%-16,71%, Sps 30,92%-37,39%, And 0,00%-1,48%, Uv 0,00%-0,20%
SM 528A	grt1	(Fe ²⁺ _{2,451-2,690} , Mn _{0,011-0,027} , Mg _{0,165-0,220} , Ca _{0,070-0,180}) (Fe ³⁺ _{0,000-0,010} , Al _{1,994-2,044} , Ti _{0,000-0,008} , Cr _{0,000-0,002}) Si _{2,992-3,069} O ₁₂ Alm 86,46%-89,91%, Prp 5,70%-7,35%, Grs 1,79%-6,06%, Sps 0,37%-0,93%, And 0,00%-0,50%, Uv 0,00%-0,10%
	grt2	(Fe ²⁺ _{1,786-2,557} , Mn _{0,068-0,789} , Mg _{0,076-0,215} , Ca _{0,125-0,373}) (Fe ³⁺ _{0,000-0,050} , Al _{2,016-2,038} , Ti _{0,000-0,012} , Cr _{0,000-0,002}) Si _{2,959-2,985} O ₁₂ Alm 60,05%-86,24%, Prp 2,55%-7,25%, Grs 2,82%-11,73%, Sps 2,29%-26,53%, And 0,00%-2,40%, Uv 0,00%-0,10%
	grt3	(Fe ²⁺ _{2,554-2,666} , Mn _{0,012-0,023} , Mg _{0,177-0,217} , Ca _{0,079-0,172}) (Al _{2,000-2,021} , Ti _{0,000-0,005} , Cr _{0,000-0,002}) Si _{3,004-3,032} O ₁₂ Alm 87,32%-89,64%, Prp 6,05%-7,30%, Grs 2,66%-5,83%, Sps 0,40%-0,78%, Uv 0,00%-0,10%
DR 151B	grt1	(Fe ²⁺ _{2,422-2,597} , Mn _{0,062-0,132} , Mg _{0,231-0,290} , Ca _{0,025-0,099}) (Fe ³⁺ _{0,000-0,267} , Al _{1,983-2,273} , Ti _{0,000-0,003} , Cr _{0,000-0,003}) Si _{2,823-2,978} O ₁₂ Alm 84,04%-87,79%, Prp 8,18%-9,77%, Grs 0,85%-3,35%, Sps 2,08%-4,44%
	grt2	(Fe ²⁺ _{2,516-2,608} , Mn _{0,013-0,027} , Mg _{0,231-0,263} , Ca _{0,043-0,145}) (Al _{1,991-2,025} , Ti _{0,001-0,005} , Cr _{0,000-0,003}) Si _{3,011-3,030} O ₁₂ Alm 86,22%-89,09%, Prp 7,91%-9,00%, Grs 1,42%-4,76%, Sps 0,44%-0,92%, Uv 0,00%-0,15%
	grt3	(Fe ²⁺ _{2,537-2,639} , Mn _{0,014-0,020} , Mg _{0,223-0,269} , Ca _{0,042-0,142}) (Al _{2,005-2,025} , Ti _{0,002-0,006} , Cr _{0,000-0,002}) Si _{3,002-3,028} O ₁₂ Alm 86,62%-88,98%, Prp 7,63%-9,07%, Grs 1,42%-4,78%, Sps 0,48%-0,68%, Uv 0,00%-0,10%
DR 349B	grt1	(Fe ²⁺ _{2,000-2,185} , Mn _{0,294-0,414} , Mg _{0,123-0,196} , Ca _{0,284-0,401}) (Fe ³⁺ _{0,008-0,084} , Al _{2,014-2,051} , Ti _{0,001-0,027} , Cr _{0,000-0,003}) Si _{2,943-2,968} O ₁₂ Alm 67,89%-73,84%, Prp 4,12%-6,62%, Grs 6,48%-12,47%, Sps 9,94%-14,05%, And 0,39%-3,98%, Uv 0,00%-0,14%
	grt2	(Fe ²⁺ _{2,414-2,511} , Mn _{0,019-0,041} , Mg _{0,157-0,290} , Ca _{0,141-0,192}) (Al _{2,010-2,034} , Ti _{0,000-0,007} , Cr _{0,000-0,001}) Si _{3,016-3,038} O ₁₂ Alm 83,05%-87,77%, Prp 5,49%-9,99%, Grs 4,81%-6,58%, Sps 0,65%-1,43%, Uv 0,00%-0,05%
	grt3	(Fe ²⁺ _{2,411-2,529} , Mn _{0,018-0,038} , Mg _{0,158-0,292} , Ca _{0,136-0,196}) (Al _{2,008-2,036} , Ti _{0,000-0,003} , Cr _{0,000-0,002}) Si _{3,027-3,053} O ₁₂ Alm 82,99%-88,06%, Prp 5,50%-9,99%, Grs 4,58%-6,71%, Sps 0,62%-1,32%, Uv 0,00%-0,10%

Tabela 6: Proporções catiônicas obtidas para as diferentes amostras com muscovita

Tabela 7: Proporções catiônicas obtidas para as diferentes amostras com biotita

Tabela 8: Proporções catiônicas obtidas para as diferentes amostras com clorita

Tabela 9: Proporções catiônicas obtidas para as diferentes amostras com estaurolita

Tabela 10: Proporções catiônicas obtidas para as diferentes amostras com plagioclásio

Tabela 11: Análise química de granada

Tabela 12: Análise química de granada

Tabela 13: Análise química de granada

Tabela 14: Análises químicas de granada

Tabela 15: Análises químicas de granada

Tabela 16: Análises químicas de granada

Tabela 17: Análises químicas de granada

Tabela 18: Análises químicas de granada

Tabela 19: Análises químicas de granada

Tabela 20: Análises químicas de granada

Tabela 21: Análises químicas de granada

Grão-Análise	DR 151B						
	grt2-pt3	grt2-pt4	grt2-pt5	grt2-pt6	grt2-pt7	grt2-pt8	grt3-pt2
SiO ₂	37,08	37,50	36,92	36,64	37,52	37,09	37,25
TiO ₂	0,03	0,02	0,03	0,02	0,05	0,08	0,05
Al ₂ O ₃	21,15	21,12	20,89	20,56	21,10	20,71	21,01
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,02	0,04	0,03	0,04	0,02
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	38,40	37,70	37,16	36,57	37,25	37,36	38,33
MnO	0,24	0,33	0,35	0,38	0,31	0,29	0,19
MgO	2,02	1,92	1,96	1,92	2,01	1,97	2,17
CaO	0,80	1,36	1,40	1,53	1,61	1,66	0,49
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total (%)	99,72	99,95	98,72	97,66	99,88	99,20	99,51
Oxigênios	12	12	12	12	12	12	12
Si	3,011	3,030	3,021	3,030	3,030	3,024	3,026
Ti	0,002	0,001	0,002	0,001	0,003	0,005	0,003
Al	2,025	2,012	2,015	2,004	2,009	1,991	2,012
Cr	0,000	0,000	0,001	0,002	0,002	0,003	0,001
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	2,608	2,548	2,543	2,529	2,516	2,548	2,604
Mn	0,016	0,023	0,024	0,027	0,021	0,020	0,013
Mg	0,244	0,231	0,239	0,237	0,242	0,239	0,263
Ca	0,070	0,117	0,123	0,136	0,139	0,145	0,043
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	7,976	7,962	7,968	7,966	7,962	7,975	7,965
Membros-finais							
Piropo	8,30%	7,91%	8,16%	8,09%	8,29%	8,10%	9,00%
Grossulária	2,38%	4,01%	4,15%	4,54%	4,66%	4,76%	1,42%
Almandina	88,77%	87,29%	86,82%	86,34%	86,22%	86,31%	89,09%
Espessartita	0,54%	0,79%	0,82%	0,92%	0,72%	0,68%	0,44%
Andradita	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Uvarovita	0,00%	0,00%	0,05%	0,10%	0,10%	0,15%	0,05%
Total	100,00%	100,00%	99,95%	99,90%	99,90%	99,85%	99,95%

Tabela 22: Análises químicas de granada

Tabela 23: Análises químicas de granada

Tabela 24: Análises químicas de granada

Tabela 25: Análises químicas de granada

Tabela 26: Análises químicas de muscovita

Grão-Análise	DR 039																			
	nv-ms1	nv-ms2	nv-ms3	nv-ms4	nv-ms5	nv-ms6	nv-ms7	nv-ms8	nv-ms9	nv-ms10	nv-ms11	nv-ms12	ms1	ms3	ms4	ms5	ms6	ms7	ms11	ms2,3
SiO ₂	46,01	45,99	45,84	45,36	45,17	45,83	45,47	45,31	45,35	44,94	45,40	45,50	45,11	45,37	44,78	44,97	44,63	45,33	44,58	44,64
TiO ₂	0,33	0,28	0,28	0,29	0,29	0,26	0,32	0,27	0,29	0,31	0,44	0,31	0,30	0,38	0,34	0,27	0,40	0,37	0,38	0,20
Al ₂ O ₃	35,13	34,27	34,53	35,30	35,27	34,71	34,91	36,15	36,32	35,29	34,59	35,57	34,85	35,13	36,26	35,25	35,28	35,31	35,68	36,30
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,02	0,03	0,05	0,05	0,00	0,00	
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	2,22	0,42	0,00	1,35	0,11	0,96	0,45	0,99	0,00	1,53	1,05
FeO	1,96	2,03	2,30	2,11	2,02	2,06	2,01	1,98	1,69	0,86	2,01	2,07	1,26	1,83	1,18	1,78	1,39	1,98	1,09	1,02
MnO	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00
MgO	0,84	0,96	0,94	0,81	0,75	0,94	0,71	0,55	0,56	0,99	0,99	0,63	1,01	0,92	0,66	0,82	0,88	0,82	0,78	0,71
CaO	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,03	0,01	0,05	0,00	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05	0,00	0,00
Na ₂ O	0,30	0,30	0,39	0,34	0,39	0,27	0,34	0,50	0,56	0,41	0,32	0,66	0,33	0,35	0,55	0,45	0,41	0,38	0,44	0,88
K ₂ O	11,15	11,15	10,97	11,07	10,77	10,91	10,93	10,81	10,88	10,68	11,00	10,48	10,89	10,87	10,53	10,82	10,89	10,99	10,76	10,10
Total (%)	95,74	95,01	95,26	95,37	94,70	95,16	94,71	95,62	95,66	95,72	95,20	95,25	95,17	94,96	95,29	94,86	94,97	95,28	95,25	94,91
Oxigênios	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
Si	3,068	3,093	3,077	3,042	3,044	3,075	3,065	3,023	3,021	3,002	3,052	3,045	3,031	3,048	2,994	3,029	3,007	3,040	2,991	2,991
Ti	0,016	0,014	0,014	0,014	0,015	0,013	0,016	0,013	0,015	0,015	0,022	0,016	0,015	0,019	0,017	0,014	0,020	0,019	0,019	0,010
Al	2,762	2,717	2,733	2,791	2,802	2,745	2,774	2,844	2,853	2,779	2,742	2,806	2,760	2,782	2,858	2,799	2,802	2,792	2,823	2,867
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,002	0,003	0,002	0,000	0,000	
Fe ₃₊	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,111	0,021	0,000	0,068	0,006	0,048	0,023	0,050	0,000	0,077	0,053
Fe ₂₊	0,109	0,114	0,129	0,118	0,114	0,116	0,113	0,110	0,094	0,048	0,113	0,116	0,071	0,103	0,066	0,100	0,078	0,111	0,061	0,057
Mn	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	
Mg	0,084	0,096	0,094	0,081	0,075	0,094	0,071	0,054	0,056	0,099	0,099	0,063	0,101	0,092	0,065	0,082	0,088	0,082	0,078	0,071
Ca	0,002	0,002	0,000	0,002	0,003	0,002	0,001	0,003	0,000	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,004	0,000	0,000	
Na	0,039	0,038	0,050	0,045	0,050	0,035	0,044	0,064	0,073	0,053	0,041	0,085	0,043	0,045	0,072	0,059	0,053	0,049	0,058	0,114
K	0,949	0,957	0,939	0,947	0,926	0,934	0,940	0,920	0,925	0,910	0,943	0,895	0,933	0,932	0,898	0,930	0,936	0,940	0,921	0,863
Soma	7,029	7,033	7,038	7,044	7,029	7,022	7,025	7,034	7,037	7,020	7,037	7,027	7,027	7,028	7,021	7,040	7,041	7,040	7,029	7,028
#Mg	0,44	0,46	0,42	0,41	0,40	0,45	0,39	0,33	0,37	0,67	0,47	0,35	0,59	0,47	0,50	0,45	0,53	0,42	0,56	0,55

Tabela 27: Análises químicas de muscovita

SM 528A									DR 349B								
Grão-Análise	ms1	ms2	ms3	ms4	ms5	ms6	ms7	ms8	ms1	ms2	ms3	ms4	ms5	ms6	ms7	ms8	
SiO ₂	45,57	44,77	45,50	43,18	45,33	45,35	45,19	44,50	45,59	44,78	45,67	43,71	45,65	45,13	45,18	45,46	
TiO ₂	0,44	0,34	0,34	0,47	0,44	0,48	0,41	0,32	0,50	0,67	0,53	0,49	0,37	0,75	0,62	0,64	
Al ₂ O ₃	37,27	37,36	36,34	34,72	37,27	37,22	37,04	36,91	36,30	35,94	36,64	35,41	36,40	36,59	36,61	36,90	
Cr ₂ O ₃	0,03	0,02	0,00	0,04	0,06	0,03	0,00	0,05	0,03	0,04	0,00	0,04	0,02	0,04	0,00	0,02	
Fe ₂ O ₃	0,00	2,21	0,40	3,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,55	0,00	0,00	0,00	0,00	
FeO	1,11	0,85	1,25	1,24	1,15	1,27	1,06	1,21	1,09	1,18	1,21	1,37	1,29	1,09	1,15	1,18	
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	
MgO	0,41	0,46	0,64	1,16	0,45	0,41	0,45	0,37	0,55	0,53	0,55	0,45	0,63	0,60	0,54	0,55	
CaO	0,01	0,00	0,00	0,10	0,01	0,03	0,05	0,01	0,02	0,03	0,03	0,06	0,01	0,04	0,00	0,00	
Na ₂ O	1,57	1,43	1,07	1,13	1,56	1,54	1,42	1,60	0,88	0,98	0,99	1,00	0,96	0,95	0,99	0,98	
K ₂ O	9,09	9,04	9,41	9,24	9,41	9,14	9,50	9,31	9,81	9,98	10,24	9,53	10,02	10,03	10,17	10,11	
Total (%)	95,50	96,48	94,95	94,47	95,68	95,49	95,12	94,31	94,77	94,16	95,85	95,61	95,40	95,21	95,27	95,85	
Oxigênios	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
Si	3,009	2,946	3,028	2,932	2,996	2,999	3,003	2,987	3,039	3,016	3,021	2,936	3,032	3,003	3,007	3,006	
Ti	0,022	0,017	0,017	0,024	0,022	0,024	0,021	0,016	0,025	0,034	0,026	0,025	0,018	0,038	0,031	0,032	
Al	2,901	2,898	2,851	2,780	2,904	2,902	2,902	2,920	2,853	2,854	2,858	2,804	2,850	2,871	2,873	2,876	
Cr	0,001	0,001	0,000	0,002	0,003	0,002	0,000	0,003	0,002	0,002	0,000	0,002	0,001	0,002	0,000	0,001	
Fe ₃₊	0,000	0,109	0,020	0,164	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,179	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fe ₂₊	0,061	0,047	0,070	0,070	0,064	0,070	0,059	0,068	0,061	0,067	0,067	0,077	0,072	0,060	0,064	0,065	
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	
Mg	0,040	0,045	0,063	0,117	0,044	0,040	0,045	0,037	0,054	0,053	0,054	0,045	0,063	0,060	0,053	0,054	
Ca	0,001	0,000	0,000	0,007	0,000	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002	0,002	0,004	0,001	0,003	0,000	0,000	
Na	0,201	0,182	0,138	0,148	0,200	0,197	0,183	0,208	0,114	0,127	0,127	0,131	0,123	0,122	0,128	0,126	
K	0,766	0,759	0,799	0,801	0,793	0,771	0,805	0,797	0,834	0,858	0,864	0,817	0,849	0,852	0,864	0,853	
Soma	7,002	7,005	6,988	7,046	7,026	7,010	7,021	7,039	6,983	7,015	7,020	7,020	7,011	7,011	7,022	7,014	
#Mg	0,40	0,49	0,47	0,63	0,41	0,36	0,43	0,35	0,47	0,44	0,45	0,37	0,47	0,50	0,45	0,45	

Tabela 28: Análise química de muscovita

Grão-Análise	DR 151B														
	nv-ms1	nv-ms2	nv-ms3	nv-ms4	nv-ms5	nv-ms6	nv-ms7	nv-ms8	nv-ms9	nv-ms10	ms1	ms3	ms5	ms5	ms3
SiO ₂	45,86	45,53	46,08	45,51	45,78	46,29	46,60	46,20	46,30	46,22	45,27	45,69	45,22	45,31	45,46
TiO ₂	0,48	0,56	0,47	0,46	0,49	0,43	0,37	0,41	0,52	0,58	0,40	0,50	0,42	0,25	0,45
Al ₂ O ₃	37,75	37,15	37,43	37,73	36,89	37,60	37,26	37,68	37,61	37,43	37,41	37,16	37,22	37,65	37,52
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,03
Fe ₂ O ₃	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	1,17	1,02	1,09	0,87	1,13	0,91	0,96	0,95	1,06	1,12	0,86	1,01	1,10	0,81	1,10
MnO	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00
MgO	0,45	0,49	0,49	0,40	0,54	0,42	0,48	0,37	0,41	0,52	0,30	0,40	0,42	0,28	0,38
CaO	0,07	0,07	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04
Na ₂ O	1,47	1,41	1,50	1,33	1,53	1,48	1,31	1,33	1,45	1,44	1,45	1,36	1,32	1,42	1,09
K ₂ O	9,05	9,12	8,74	9,00	8,97	9,31	9,40	9,40	9,28	9,26	9,17	9,50	9,12	9,46	9,47
Total (%)	96,30	95,36	95,84	95,34	95,33	96,45	96,37	96,34	96,66	96,59	94,88	95,63	94,89	95,22	95,55
Oxigênios	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	3,001	3,009	3,021	3,001	3,025	3,022	3,044	3,020	3,018	3,017	3,004	3,015	3,003	3,000	3,001
Ti	0,023	0,028	0,023	0,023	0,024	0,021	0,018	0,020	0,025	0,029	0,020	0,025	0,021	0,012	0,022
Al	2,912	2,894	2,893	2,933	2,874	2,894	2,869	2,904	2,890	2,880	2,927	2,891	2,914	2,939	2,920
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,002
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,064	0,056	0,060	0,048	0,062	0,050	0,052	0,052	0,058	0,061	0,048	0,056	0,061	0,045	0,061
Mn	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000
Mg	0,044	0,048	0,048	0,039	0,053	0,041	0,047	0,036	0,040	0,050	0,030	0,039	0,041	0,028	0,037
Ca	0,005	0,005	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,002
Na	0,186	0,181	0,191	0,170	0,196	0,187	0,165	0,168	0,183	0,182	0,187	0,174	0,170	0,182	0,140
K	0,755	0,769	0,731	0,757	0,756	0,775	0,783	0,784	0,772	0,771	0,776	0,800	0,773	0,799	0,798
Soma	6,992	6,992	6,970	6,974	6,991	6,992	6,979	6,984	6,989	6,992	6,994	7,002	6,989	7,009	6,985
#Mg	0,41	0,46	0,44	0,45	0,46	0,45	0,47	0,47	0,41	0,41	0,45	0,38	0,41	0,40	0,38

Tabela 29: Análises químicas de biotita

DR 039																					
Grão-Análise	nv-bt1	nv-bt2	nv-bt3	nv-bt4	nv-bt6	nv-bt7	nv-bt8	nv-bt9	nv-bt10	nv-bt11	nv-bt12	nv-bt14	nv-bt16	nv-bt17	bt4	bt5	bt10	bt11	bt14	bt15	bt19
SiO ₂	34,52	35,11	35,00	39,63	36,88	35,04	35,12	34,85	34,63	34,61	35,30	36,21	34,93	34,98	34,13	34,57	34,46	35,89	34,27	37,12	37,78
TiO ₂	1,29	1,65	1,51	1,12	1,15	1,52	1,72	1,18	1,56	1,39	1,79	1,59	1,44	1,61	2,19	1,82	1,49	1,24	1,67	1,59	1,56
Al ₂ O ₃	18,74	18,86	18,78	19,82	19,25	18,59	18,75	18,89	18,61	18,57	18,67	19,83	18,98	18,51	18,61	18,75	19,45	19,42	18,67	18,13	19,26
Cr ₂ O ₃	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	0,08	0,05	0,06	0,01	0,00	0,02
Fe ₂ O ₃	1,35	0,00	1,75	0,00	0,00	0,17	0,00	0,64	2,25	2,64	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00
FeO	20,40	21,56	20,21	17,05	20,01	21,35	21,48	20,75	20,03	19,33	21,35	20,14	21,23	21,75	21,57	21,01	20,67	19,71	20,28	20,50	19,20
MnO	0,29	0,27	0,30	0,23	0,29	0,30	0,32	0,27	0,34	0,32	0,30	0,26	0,31	0,33	0,03	0,09	0,01	0,02	0,04	0,04	0,03
MgO	9,06	9,00	9,19	7,61	8,59	8,99	8,85	9,24	9,20	9,31	8,88	8,16	8,98	8,69	8,82	9,00	8,99	8,48	9,19	8,43	7,97
CaO	0,03	0,01	0,04	0,90	0,30	0,03	0,04	0,03	0,06	0,02	0,05	0,01	0,07	0,04	0,08	0,07	0,13	0,42	0,01	0,08	0,00
Na ₂ O	0,07	0,05	0,06	1,40	0,92	0,07	0,04	0,06	0,02	0,06	0,07	0,06	0,05	0,03	0,06	0,06	0,17	0,74	0,08	0,13	0,08
K ₂ O	9,38	9,62	9,06	8,06	8,50	9,43	9,59	9,68	9,23	8,97	9,32	9,62	9,46	9,52	9,42	9,67	9,53	8,85	9,34	9,18	9,51
Total	95,14	96,13	95,89	95,82	95,89	95,49	95,91	95,59	95,93	95,21	95,72	95,88	95,61	95,45	94,91	95,12	94,95	94,83	95,77	95,20	95,42
Oxigênios	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
Si	2,664	2,683	2,670	2,921	2,780	2,694	2,690	2,677	2,649	2,658	2,702	2,741	2,681	2,697	2,647	2,669	2,657	2,741	2,631	2,826	2,844
Ti	0,075	0,095	0,087	0,062	0,065	0,088	0,099	0,068	0,090	0,080	0,103	0,091	0,083	0,093	0,128	0,106	0,086	0,071	0,096	0,091	0,089
Al	1,705	1,699	1,689	1,722	1,710	1,685	1,693	1,710	1,679	1,681	1,685	1,770	1,717	1,683	1,702	1,706	1,768	1,749	1,690	1,627	1,710
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003	0,004	0,001	0,000	0,001	
Fe ₃₊	0,079	0,000	0,100	0,000	0,000	0,010	0,000	0,037	0,130	0,153	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,127	0,000	0,000
Fe ₂₊	1,317	1,378	1,289	1,051	1,261	1,373	1,376	1,333	1,282	1,242	1,367	1,275	1,363	1,402	1,399	1,356	1,333	1,259	1,302	1,305	1,209
Mn	0,019	0,017	0,020	0,014	0,019	0,020	0,021	0,018	0,022	0,021	0,019	0,016	0,020	0,021	0,002	0,006	0,001	0,002	0,003	0,003	0,002
Mg	1,042	1,025	1,045	0,836	0,965	1,030	1,010	1,058	1,049	1,066	1,013	0,921	1,027	0,999	1,020	1,035	1,033	0,965	1,051	0,956	0,894
Ca	0,002	0,001	0,003	0,071	0,024	0,002	0,003	0,003	0,005	0,001	0,004	0,001	0,006	0,003	0,006	0,005	0,011	0,034	0,001	0,007	0,000
Na	0,011	0,007	0,009	0,200	0,134	0,011	0,006	0,009	0,003	0,008	0,010	0,009	0,008	0,004	0,009	0,009	0,025	0,110	0,013	0,019	0,012
K	0,923	0,938	0,882	0,758	0,817	0,925	0,937	0,949	0,901	0,879	0,910	0,929	0,926	0,936	0,932	0,952	0,937	0,862	0,915	0,892	0,913
Soma	7,837	7,845	7,795	7,635	7,776	7,838	7,836	7,861	7,810	7,789	7,813	7,753	7,841	7,840	7,846	7,851	7,854	7,798	7,829	7,725	7,675
#Mg	0,34	0,32	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,32	0,33	0,33	0,33	0,34	0,32	0,34	0,34	0,33	0,33	0,32	0,33	0,33	0,33

Tabela 30: Análises químicas de biotita

		DR 396																				
Grão-Análise		bt2	bt3	bt4	bt5	bt6	bt7	bt8	bt9	bt10	bt13	bt14	bt15	bt16	bt18	nv-bt1	nv-bt2	nv-bt3	nv-bt4	nv-bt8	nv-bt9	nv-bt10
SiO ₂		34,29	35,60	33,94	34,27	34,84	34,76	34,87	34,95	34,87	35,36	35,40	34,73	35,09	35,06	34,48	34,90	35,04	35,19	35,50	35,80	35,86
TiO ₂		2,34	2,07	1,77	1,93	3,67	3,24	2,96	3,05	2,85	2,44	2,04	2,44	2,46	2,81	2,50	2,21	2,48	3,22	2,69	2,77	2,50
Al ₂ O ₃		17,81	18,38	18,21	18,17	17,84	17,92	17,88	18,00	18,14	18,36	18,51	18,54	18,57	18,33	18,01	18,48	17,90	17,80	17,78	17,77	18,02
Cr ₂ O ₃		0,06	0,02	0,05	0,06	0,08	0,04	0,05	0,08	0,07	0,05	0,06	0,09	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃		0,00	0,00	3,34	2,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO		19,69	18,69	17,03	17,30	18,79	19,64	19,41	19,34	19,64	18,00	18,07	19,20	18,92	19,54	19,95	20,24	19,74	19,26	17,22	17,00	17,18
MnO		0,06	0,05	0,02	0,03	0,06	0,04	0,02	0,02	0,06	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,25	0,25	0,27	0,28	0,21	0,24	0,25
MgO		10,41	10,54	11,35	10,91	9,89	9,93	10,09	9,91	9,96	11,17	11,58	10,40	10,27	9,89	9,89	9,91	9,75	9,61	11,64	11,36	11,22
CaO		0,21	0,06	0,07	0,05	1,38	0,05	0,05	0,09	0,11	0,07	0,08	0,08	0,07	0,09	0,07	0,07	0,05	0,04	0,02	0,03	0,04
Na ₂ O		0,18	0,14	0,17	0,16	0,11	0,14	0,14	0,14	0,16	0,11	0,09	0,10	0,11	0,12	0,05	0,04	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05
K ₂ O		9,44	9,79	8,76	9,10	9,20	9,96	9,81	9,83	9,76	9,82	9,73	9,15	9,95	9,92	9,63	9,52	9,83	10,05	9,99	10,22	9,85
Total (%)		94,48	95,33	94,70	94,85	95,86	95,71	95,28	95,42	95,61	95,40	95,60	95,07	95,50	95,78	94,83	95,61	95,12	95,51	95,10	95,24	94,97
Oxigênios		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si		2,654	2,707	2,600	2,624	2,647	2,657	2,671	2,672	2,664	2,681	2,677	2,653	2,672	2,671	2,662	2,668	2,693	2,690	2,696	2,713	2,720
Ti		0,136	0,118	0,102	0,111	0,210	0,186	0,171	0,175	0,164	0,139	0,116	0,140	0,141	0,161	0,145	0,127	0,143	0,185	0,154	0,158	0,143
Al		1,625	1,648	1,645	1,640	1,598	1,615	1,615	1,622	1,634	1,641	1,650	1,670	1,667	1,646	1,639	1,666	1,622	1,604	1,592	1,588	1,611
Cr		0,003	0,001	0,003	0,004	0,005	0,002	0,003	0,005	0,004	0,003	0,004	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ₃₊		0,000	0,000	0,193	0,166	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ₂₊		1,275	1,189	1,091	1,108	1,194	1,255	1,243	1,237	1,255	1,141	1,143	1,227	1,205	1,245	1,288	1,294	1,269	1,231	1,094	1,078	1,090
Mn		0,004	0,003	0,001	0,002	0,004	0,002	0,002	0,001	0,004	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,016	0,016	0,018	0,018	0,014	0,015	0,016
Mg		1,201	1,194	1,296	1,245	1,120	1,131	1,152	1,129	1,134	1,262	1,305	1,184	1,166	1,123	1,138	1,129	1,117	1,095	1,317	1,283	1,268
Ca		0,017	0,005	0,005	0,004	0,112	0,004	0,004	0,007	0,009	0,006	0,006	0,006	0,006	0,008	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	0,003	0,003
Na		0,027	0,020	0,026	0,023	0,016	0,020	0,020	0,021	0,024	0,016	0,013	0,015	0,016	0,018	0,008	0,006	0,010	0,009	0,007	0,008	0,007
K		0,932	0,950	0,856	0,889	0,892	0,971	0,959	0,959	0,951	0,950	0,939	0,892	0,967	0,964	0,949	0,928	0,964	0,980	0,968	0,988	0,953
Soma		7,876	7,836	7,819	7,816	7,797	7,845	7,840	7,830	7,842	7,841	7,857	7,813	7,844	7,837	7,852	7,840	7,840	7,817	7,843	7,834	7,812
#Mg		0,49	0,50	0,54	0,53	0,48	0,47	0,48	0,48	0,47	0,53	0,53	0,49	0,49	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,55	0,54	0,54

Tabela 31: Análises químicas de biotita

Grão-Análise	DR 396										DR 349B									
	nv-bt11	nv-bt12	nv-bt13	nv-bt15	nv-bt16	nv-bt17	nv-bt18	nv-bt19	nv-bt20	bt1	bt2	bt3	bt4	bt5	bt6	bt7	bt8	bt9		
SiO ₂	35,71	35,71	35,28	34,70	35,03	35,45	35,39	35,23	35,28	34,28	34,25	34,07	34,52	33,75	33,72	34,13	34,11	34,19		
TiO ₂	2,91	2,54	2,35	2,92	2,35	2,55	2,16	2,63	2,86	2,65	2,68	2,19	2,50	2,80	2,72	2,78	2,91	2,63		
Al ₂ O ₃	17,80	17,96	18,49	18,04	18,27	18,45	18,47	18,24	17,93	19,81	19,86	20,24	19,71	19,48	19,41	20,04	20,02	20,00		
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,06	0,11	0,01	0,02	0,00	0,06	0,02		
Fe ₂ O ₃	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		
FeO	17,45	16,33	17,97	18,56	18,56	19,21	18,06	18,21	18,63	23,12	23,29	23,64	23,42	23,93	23,89	22,50	22,92	22,73		
MnO	0,22	0,22	0,26	0,22	0,17	0,16	0,17	0,18	0,19	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01		
MgO	11,44	11,82	10,88	10,23	10,67	9,83	10,73	10,54	10,40	6,77	6,64	6,48	6,63	6,86	6,86	6,84	6,97	6,96		
CaO	0,04	0,60	0,02	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,01	0,03	0,04	0,00	0,07		
Na ₂ O	0,05	0,05	0,03	0,05	0,08	0,05	0,06	0,05	0,04	0,17	0,15	0,14	0,16	0,12	0,12	0,16	0,16	0,15		
K ₂ O	9,99	9,30	9,21	9,22	9,34	9,62	9,46	9,52	9,58	9,26	9,23	9,49	9,63	9,20	9,33	9,71	9,34	9,20		
Total (%)	95,61	94,54	94,49	93,94	94,48	95,35	94,50	94,60	94,91	96,12	96,14	96,31	96,70	96,16	96,13	96,21	96,49	95,96		
Oxigênios	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11		
Si	2,698	2,707	2,692	2,677	2,685	2,700	2,703	2,693	2,696	2,634	2,633	2,622	2,645	2,607	2,608	2,620	2,610	2,626		
Ti	0,165	0,145	0,135	0,169	0,135	0,146	0,124	0,151	0,164	0,153	0,155	0,127	0,144	0,163	0,158	0,160	0,167	0,152		
Al	1,586	1,605	1,663	1,641	1,651	1,657	1,663	1,644	1,615	1,795	1,800	1,837	1,780	1,774	1,770	1,814	1,806	1,811		
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,004	0,007	0,000	0,001	0,000	0,004	0,001		
Fe ₃₊	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
Fe ₂₊	1,103	1,035	1,147	1,198	1,190	1,224	1,154	1,164	1,191	1,486	1,497	1,522	1,501	1,546	1,545	1,445	1,467	1,460		
Mn	0,014	0,014	0,017	0,014	0,011	0,010	0,011	0,011	0,012	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001		
Mg	1,288	1,336	1,237	1,176	1,219	1,116	1,221	1,201	1,184	0,775	0,761	0,743	0,757	0,790	0,791	0,783	0,795	0,797		
Ca	0,003	0,049	0,001	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,001	0,003	0,004	0,000	0,006		
Na	0,008	0,007	0,004	0,008	0,011	0,007	0,008	0,007	0,006	0,026	0,022	0,020	0,023	0,017	0,017	0,024	0,024	0,022		
K	0,963	0,900	0,896	0,908	0,913	0,935	0,922	0,929	0,934	0,908	0,905	0,932	0,941	0,907	0,921	0,951	0,912	0,902		
Soma	7,829	7,799	7,793	7,791	7,817	7,797	7,807	7,802	7,803	7,782	7,776	7,808	7,801	7,806	7,817	7,801	7,786	7,778		
#Mg	0,54	0,56	0,52	0,50	0,51	0,48	0,51	0,51	0,50	0,34	0,34	0,33	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35		

Tabela 32: Análises químicas de biotita

Grão-Análise	SM 528A																
	bt2	bt1	bt4	bt5	nv-bt1	nv-bt2	nv-bt3	nv-bt4	nv-bt5	nv-bt6	nv-bt7	nv-bt9	nv-bt10	nv-bt11	nv-bt12	nv-bt13	nv-bt15
SiO ₂	33,12	34,36	33,65	34,28	33,99	34,53	34,26	34,64	34,06	33,70	34,84	34,42	34,45	34,63	34,93	34,62	33,98
TiO ₂	2,21	2,17	3,07	2,38	1,94	2,05	1,81	1,77	1,81	2,24	1,77	1,88	1,84	2,20	2,11	1,95	1,89
Al ₂ O ₃	19,52	20,14	18,97	18,90	19,59	19,21	19,72	19,27	19,25	19,07	19,63	19,98	19,20	19,03	19,87	19,47	18,86
Cr ₂ O ₃	0,03	0,05	0,05	0,06	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 ₂ O ₃	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	0,09
FeO	25,61	23,84	25,12	24,54	24,42	23,82	23,68	23,97	24,22	24,27	22,75	23,22	24,22	23,11	23,38	24,33	24,68
MnO	0,03	0,04	0,02	0,03	0,18	0,17	0,14	0,13	0,18	0,16	0,17	0,20	0,21	0,14	0,22	0,17	0,13
MgO	5,34	6,02	5,54	5,63	6,09	6,65	6,22	6,11	6,60	6,52	6,45	6,22	6,12	6,13	6,12	5,76	6,41
CaO	0,06	0,09	0,06	0,07	0,03	0,01	0,03	0,05	0,00	0,04	0,03	0,09	0,07	0,04	0,07	0,11	0,08
Na ₂ O	0,01	0,07	0,02	0,05	0,06	0,04	0,07	0,04	0,06	0,03	0,07	0,06	0,05	0,06	0,04	0,03	
K ₂ O	9,46	8,88	9,32	9,32	9,38	9,15	9,16	9,36	9,47	8,94	9,35	9,15	8,90	9,23	8,62	8,65	8,82
Total (%)	95,39	95,66	95,82	95,26	95,68	95,64	95,09	95,35	95,65	94,97	95,05	95,22	95,05	94,57	95,38	95,09	94,96
Oxigênios	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
Si	2,609	2,654	2,628	2,681	2,647	2,675	2,668	2,696	2,653	2,640	2,701	2,669	2,688	2,706	2,693	2,694	2,664
Ti	0,131	0,126	0,180	0,140	0,114	0,119	0,106	0,104	0,106	0,132	0,103	0,110	0,108	0,129	0,122	0,114	0,111
Al	1,813	1,834	1,747	1,743	1,798	1,755	1,810	1,768	1,768	1,761	1,794	1,827	1,766	1,753	1,806	1,786	1,743
Cr	0,002	0,003	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	
Fe ²⁺	1,687	1,540	1,641	1,605	1,590	1,543	1,542	1,560	1,578	1,590	1,475	1,506	1,581	1,510	1,508	1,584	1,618
Mn	0,002	0,002	0,001	0,002	0,012	0,011	0,009	0,009	0,012	0,011	0,011	0,013	0,014	0,009	0,014	0,011	0,008
Mg	0,627	0,693	0,645	0,656	0,707	0,768	0,722	0,709	0,766	0,761	0,745	0,719	0,712	0,714	0,703	0,668	0,749
Ca	0,005	0,007	0,005	0,006	0,003	0,001	0,002	0,005	0,000	0,003	0,002	0,007	0,006	0,003	0,006	0,009	0,007
Na	0,001	0,011	0,003	0,008	0,009	0,007	0,011	0,007	0,008	0,005	0,010	0,009	0,007	0,008	0,009	0,005	0,004
K	0,951	0,875	0,929	0,930	0,932	0,904	0,910	0,929	0,941	0,893	0,925	0,905	0,886	0,920	0,848	0,859	0,882
Soma	7,829	7,745	7,783	7,775	7,811	7,784	7,782	7,785	7,833	7,797	7,767	7,766	7,768	7,753	7,710	7,731	7,794
#Mg	0,27	0,31	0,28	0,29	0,31	0,33	0,32	0,31	0,33	0,32	0,34	0,32	0,31	0,32	0,32	0,30	0,32

Tabela 33: Análises químicas de biotita

SM 528A																	
Grão-Análise	nv-bt16	nv-bt17	nv-bt18	nv-bt19	nv-bt20	nv-bt21	nv-bt22	nv-bt24	nv-bt25	ms1	ms2	ms3	ms4	ms2	ms3	ms1	ms2
SiO ₂	34,61	34,65	34,41	33,98	33,61	34,31	34,32	34,22	34,34	45,57	44,77	45,50	43,18	45,33	45,35	45,19	44,50
TiO ₂	1,74	1,79	1,78	1,78	1,79	2,00	2,02	2,00	2,04	0,44	0,34	0,34	0,47	0,44	0,48	0,41	0,32
Al ₂ O ₃	19,58	19,30	19,95	19,05	19,66	19,93	19,57	19,04	19,47	37,27	37,36	36,34	34,72	37,27	37,22	37,04	36,91
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,04	0,06	0,03	0,00	0,05
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	2,21	0,40	3,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	23,66	24,22	24,70	25,18	23,36	25,02	24,57	24,42	25,16	1,11	0,85	1,25	1,24	1,15	1,27	1,06	1,21
MnO	0,17	0,14	0,17	0,17	0,19	0,21	0,17	0,14	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02
MgO	6,07	5,94	6,20	5,99	6,57	5,89	6,27	5,67	5,73	0,41	0,46	0,64	1,16	0,45	0,41	0,45	0,37
CaO	0,03	0,06	0,00	0,07	0,01	0,01	0,00	0,02	0,07	0,01	0,00	0,00	0,10	0,01	0,03	0,05	0,01
Na ₂ O	0,06	0,03	0,05	0,04	0,01	0,05	0,09	0,05	0,06	1,57	1,43	1,07	1,13	1,56	1,54	1,42	1,60
K ₂ O	9,25	9,51	9,56	8,95	8,81	9,68	9,54	9,33	9,14	9,09	9,04	9,41	9,24	9,41	9,14	9,50	9,31
Total (%)	95,16	95,65	96,82	95,21	95,67	97,10	96,55	94,88	96,17	95,50	96,48	94,95	94,47	95,68	95,49	95,12	94,31
Oxigênios	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
Si	2,692	2,693	2,648	2,665	2,609	2,639	2,649	2,686	2,663	3,009	2,946	3,028	2,932	2,996	2,999	3,003	2,987
Ti	0,102	0,105	0,103	0,105	0,105	0,116	0,117	0,118	0,119	0,022	0,017	0,017	0,024	0,022	0,024	0,021	0,016
Al	1,795	1,769	1,810	1,761	1,799	1,807	1,781	1,762	1,780	2,901	2,898	2,851	2,780	2,904	2,902	2,902	2,920
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002	0,003	0,002	0,000	0,003
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,097	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,109	0,020	0,164	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	1,539	1,575	1,589	1,651	1,517	1,610	1,586	1,603	1,632	0,061	0,047	0,070	0,070	0,064	0,070	0,059	0,068
Mn	0,011	0,009	0,011	0,011	0,012	0,014	0,011	0,009	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Mg	0,704	0,688	0,711	0,700	0,760	0,675	0,721	0,663	0,662	0,040	0,045	0,063	0,117	0,044	0,040	0,045	0,037
Ca	0,002	0,005	0,000	0,006	0,001	0,001	0,000	0,001	0,006	0,001	0,000	0,000	0,007	0,000	0,002	0,003	0,001
Na	0,009	0,005	0,008	0,006	0,002	0,008	0,014	0,007	0,009	0,201	0,182	0,138	0,148	0,200	0,197	0,183	0,208
K	0,918	0,943	0,938	0,895	0,873	0,950	0,940	0,934	0,904	0,766	0,759	0,799	0,801	0,793	0,771	0,805	0,797
Soma	7,772	7,792	7,818	7,801	7,775	7,821	7,820	7,786	7,786	7,002	7,005	6,988	7,046	7,026	7,010	7,021	7,039
#Mg	0,31	0,30	0,31	0,30	0,33	0,30	0,31	0,29	0,29	0,40	0,49	0,47	0,63	0,41	0,36	0,43	0,35

Tabela 34: Análises químicas de biotita

Grão-Análise	DR 151B														
	nv-bt1	nv-bt4	nv-bt5	nv-bt6	nv-bt8	nv-bt9	nv-bt10	nv-bt11	nv-bt12	nv-bt13	nv-bt14	nv-bt15	bt3	bt4	bt5
SiO ₂	34,70	34,23	34,45	34,21	34,18	34,61	34,50	34,26	34,60	34,26	34,95	34,57	33,72	33,87	33,72
TiO ₂	1,88	2,02	2,05	1,87	1,81	1,77	1,80	2,02	1,72	1,93	1,65	1,87	1,68	1,53	1,75
Al ₂ O ₃	20,01	20,19	20,46	19,99	20,05	19,99	20,56	20,00	20,26	20,38	20,52	20,14	20,21	20,70	20,48
Cr ₂ O ₃	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	0,07
Fe ₂ O ₃	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	23,74	23,55	23,18	23,17	22,93	23,27	23,43	22,57	22,79	23,23	23,06	23,32	23,64	22,84	23,45
MnO	0,03	0,05	0,05	0,08	0,05	0,06	0,05	0,08	0,07	0,07	0,07	0,05	0,00	0,00	0,01
MgO	6,71	6,84	6,95	7,02	6,74	6,95	7,00	6,58	6,82	6,39	6,74	6,70	6,70	6,64	6,52
CaO	0,00	0,01	0,01	0,01	0,08	0,00	0,00	0,01	0,00	0,09	0,00	0,02	0,03	0,02	0,01
Na ₂ O	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,17	0,13	0,11
K ₂ O	9,15	9,18	9,26	9,27	9,04	9,39	9,36	8,87	8,93	8,94	9,13	9,48	8,68	9,16	9,04
Total (%)	96,34	96,20	96,53	95,74	94,99	96,15	96,82	94,49	95,29	95,40	96,25	96,29	94,83	94,88	95,16
Oxigênios	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	2,661	2,631	2,632	2,640	2,652	2,659	2,631	2,664	2,667	2,647	2,670	2,654	2,627	2,631	2,620
Ti	0,108	0,117	0,118	0,109	0,106	0,102	0,103	0,118	0,100	0,112	0,095	0,108	0,098	0,089	0,102
Al	1,809	1,829	1,843	1,819	1,834	1,810	1,849	1,834	1,841	1,856	1,848	1,823	1,856	1,895	1,876
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
Fe ₃₊	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ₂₊	1,523	1,514	1,481	1,495	1,488	1,495	1,495	1,468	1,469	1,501	1,473	1,497	1,540	1,484	1,524
Mn	0,002	0,003	0,003	0,005	0,003	0,004	0,003	0,005	0,004	0,004	0,005	0,003	0,000	0,000	0,000
Mg	0,767	0,783	0,791	0,807	0,779	0,796	0,796	0,763	0,784	0,736	0,767	0,766	0,778	0,769	0,755
Ca	0,000	0,001	0,001	0,001	0,007	0,000	0,000	0,001	0,000	0,007	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001
Na	0,017	0,018	0,017	0,018	0,016	0,016	0,018	0,014	0,016	0,018	0,019	0,021	0,026	0,019	0,017
K	0,895	0,900	0,903	0,913	0,895	0,920	0,911	0,880	0,878	0,881	0,890	0,928	0,863	0,908	0,896
Soma	7,782	7,798	7,789	7,808	7,781	7,803	7,806	7,748	7,760	7,763	7,767	7,802	7,791	7,796	7,795
#Mg	0,33	0,34	0,35	0,35	0,34	0,35	0,35	0,34	0,35	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,33

Tabela 35: Análises químicas de clorita

Grão-Análise	DR 039															DR 396								
	chl1	chl2	chl3	chl4	chl1,1	chl1,2	chl1,3	chl1,4	chl1,5	chl1,6	chl1,7	chl1,8	chl2,6	chl2,7	chl2,8	chl2,9	chl3,1	chl3,4	chl3,5	chl1	chl2	chl4	chl6	chl9
SiO ₂	25,16	23,70	26,00	23,36	23,89	23,77	25,53	28,42	23,68	23,87	24,97	24,34	24,02	23,66	23,50	23,56	24,07	30,65	26,37	27,62	25,29	26,03	26,12	26,47
TiO ₂	0,23	0,08	0,06	0,10	0,14	0,07	0,07	0,08	0,14	0,09	0,17	0,05	0,09	0,10	0,05	0,10	0,26	0,11	0,16	0,22	0,18	0,04	0,14	0,18
Al ₂ O ₃	22,42	22,75	23,90	23,24	22,49	22,68	22,12	23,26	22,58	22,41	22,73	21,41	22,87	23,19	23,17	23,17	22,05	22,58	20,84	19,34	20,55	20,72	19,32	20,38
Cr ₂ O ₃	0,03	0,04	0,01	0,02	0,02	0,07	0,03	0,00	0,07	0,03	0,07	0,00	0,06	0,02	0,05	0,02	0,09	0,04	0,08	0,04	0,05	0,00	0,03	0,00
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,25	0,29	0,27	0,00	0,00	0,42	0,38	0,00	0,76	0,00	0,07	0,40	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	1,24	0,00	1,73	0,00
FeO	25,09	26,65	23,84	26,04	26,66	26,69	26,92	23,60	26,35	26,73	26,04	26,38	27,01	27,02	26,70	27,11	25,11	22,27	25,46	23,21	22,48	24,23	21,85	23,33
MnO	0,07	0,07	0,06	0,09	0,09	0,08	0,06	0,07	0,09	0,08	0,07	0,07	0,09	0,07	0,10	0,10	0,07	0,08	0,07	0,09	0,06	0,10	0,08	0,02
MgO	12,66	12,77	12,27	13,24	13,33	13,15	13,32	11,24	13,26	13,33	13,14	13,70	12,91	12,85	13,03	12,80	12,73	11,25	13,04	16,86	16,02	15,78	17,74	16,34
CaO	0,09	0,06	0,03	0,05	0,07	0,03	0,05	1,05	0,05	0,08	0,11	0,04	0,03	0,06	0,13	0,06	0,06	1,18	0,07	0,16	0,09	0,07	0,05	0,20
Na ₂ O	0,01	0,03	0,00	0,03	0,05	0,05	0,01	1,21	0,05	0,01	0,09	0,04	0,07	0,04	0,05	0,02	0,00	1,60	0,06	0,07	0,08	0,05	0,09	0,06
K ₂ O	1,45	0,03	1,24	0,09	0,06	0,10	0,11	0,07	0,09	0,06	0,53	0,09	0,16	0,15	0,01	0,03	1,06	0,08	1,13	0,35	0,44	0,04	0,05	0,12
Total (%)	87,21	86,17	87,42	86,52	87,09	86,95	88,22	89,00	86,79	87,07	87,92	86,88	87,30	87,22	87,19	86,97	86,76	89,84	87,27	87,95	86,49	87,06	87,20	87,09
Oxigênios	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Si	2,683	2,567	2,727	2,516	2,563	2,555	2,690	2,905	2,548	2,563	2,640	2,618	2,571	2,537	2,520	2,533	2,596	3,070	2,806	2,867	2,686	2,745	2,738	2,777
Ti	0,018	0,006	0,005	0,008	0,011	0,006	0,006	0,012	0,007	0,013	0,004	0,007	0,008	0,004	0,008	0,021	0,009	0,013	0,017	0,014	0,003	0,011	0,014	
Al	2,819	2,904	2,955	2,950	2,844	2,874	2,748	2,803	2,865	2,837	2,833	2,715	2,886	2,931	2,929	2,937	2,803	2,666	2,614	2,366	2,573	2,576	2,388	2,520
Cr	0,002	0,004	0,001	0,002	0,002	0,006	0,002	0,000	0,006	0,003	0,006	0,000	0,005	0,002	0,004	0,002	0,008	0,003	0,007	0,004	0,005	0,000	0,003	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,020	0,023	0,022	0,000	0,034	0,031	0,000	0,062	0,000	0,006	0,032	0,000	0,102	0,000	0,000	0,000	0,099	0,000	0,137	0,000	
Fe ²⁺	2,238	2,414	2,091	2,346	2,392	2,399	2,372	2,017	2,372	2,400	2,302	2,374	2,418	2,423	2,394	2,438	2,265	1,866	2,266	2,015	1,997	2,137	1,916	2,047
Mn	0,007	0,006	0,005	0,008	0,008	0,007	0,005	0,006	0,009	0,007	0,007	0,006	0,008	0,006	0,009	0,009	0,006	0,007	0,006	0,007	0,005	0,009	0,007	0,002
Mg	2,012	2,061	1,918	2,125	2,131	2,106	2,092	1,712	2,127	2,133	2,070	2,196	2,060	2,053	2,082	2,051	2,046	1,679	2,068	2,608	2,535	2,480	2,771	2,554
Ca	0,010	0,006	0,004	0,006	0,008	0,003	0,005	0,115	0,006	0,010	0,013	0,004	0,003	0,006	0,015	0,007	0,007	0,127	0,008	0,018	0,010	0,008	0,005	0,022
Na	0,003	0,006	0,000	0,006	0,010	0,009	0,002	0,241	0,011	0,001	0,018	0,009	0,014	0,007	0,010	0,004	0,000	0,311	0,011	0,014	0,016	0,009	0,018	0,011
K	0,197	0,004	0,166	0,013	0,008	0,013	0,015	0,009	0,013	0,009	0,071	0,012	0,022	0,021	0,002	0,003	0,146	0,010	0,153	0,046	0,060	0,005	0,006	0,016
Soma	9,989	9,979	9,873	10,000	10,000	10,000	9,938	9,813	10,000	10,000	9,972	10,000	9,994	10,000	10,000	9,993	10,000	9,747	9,953	9,961	10,000	9,971	10,000	9,963
#Mg	0,34	0,32	0,34	0,34	0,33	0,33	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,32	0,32	0,33	0,32	0,34	0,34	0,34	0,34	0,42	0,42	0,39	0,45	0,41

Tabela 36: Análises Químicas de estaurolita

Grão-Análise	DR 349B																			
	st1-1	st1-2	st1-3	st1-4	st1-5	st1-6	st2-1	st2-2	st2-3	st2-4	st2-5	st2-6	st3-1	st3-2	st3-3	st3-4	st3-5	st3-6	st3-7	st3-8
SiO ₂	27,78	27,80	27,69	27,07	27,33	26,55	27,24	27,58	27,00	26,80	27,70	26,60	27,35	26,77	27,31	27,21	27,55	27,03	26,63	27,32
TiO ₂	0,70	0,60	0,55	0,52	0,53	0,59	0,60	0,61	0,59	0,65	0,65	0,44	0,71	0,58	0,42	0,62	0,45	0,52	0,63	0,53
Al ₂ O ₃	54,27	53,95	53,75	53,50	54,28	54,12	54,92	54,22	53,50	54,15	53,94	54,79	54,02	55,13	55,08	54,85	54,24	54,68	53,49	54,22
Cr ₂ O ₃	0,07	0,05	0,02	0,03	0,09	0,06	0,02	0,03	0,05	0,00	0,07	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	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	0,00	0,00
FeO	13,49	13,51	12,88	13,80	13,26	13,70	13,50	13,94	13,41	13,81	13,56	13,78	12,92	12,88	12,93	12,98	12,73	12,88	12,74	12,98
MnO	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,05	0,03	0,05	0,02	0,03	0,02	0,05	0,07	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06
MgO	0,85	1,00	1,05	0,92	0,79	0,77	0,83	0,95	0,95	0,92	0,86	0,86	0,84	0,95	0,98	1,00	0,88	0,78	0,72	0,82
CaO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
Na ₂ O	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
K ₂ O	0,03	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,04	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01
Total (%)	97,23	96,97	95,99	95,89	96,34	95,81	97,16	97,44	95,58	96,40	96,82	96,62	95,89	96,41	96,78	96,74	95,91	95,93	94,32	95,95
Oxigênios	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
Si	7,732	7,759	7,783	7,662	7,672	7,521	7,590	7,681	7,655	7,549	7,746	7,475	7,700	7,501	7,614	7,597	7,742	7,605	7,627	7,688
Ti	0,146	0,126	0,117	0,110	0,112	0,127	0,125	0,127	0,126	0,138	0,138	0,092	0,151	0,122	0,089	0,130	0,095	0,110	0,135	0,112
Al	17,808	17,752	17,811	17,853	17,963	18,074	18,041	17,802	17,882	17,982	17,782	18,151	17,929	18,211	18,105	18,054	17,969	18,136	18,061	17,988
Cr	0,015	0,011	0,004	0,006	0,019	0,013	0,003	0,007	0,011	0,000	0,015	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ₃₊	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ₂₊	3,140	3,154	3,028	3,267	3,113	3,246	3,146	3,247	3,180	3,253	3,171	3,238	3,042	3,018	3,015	3,031	2,992	3,031	3,052	3,055
Mn	0,010	0,007	0,004	0,007	0,008	0,006	0,011	0,007	0,011	0,004	0,008	0,005	0,012	0,016	0,009	0,010	0,010	0,010	0,015	0,013
Mg	0,354	0,414	0,440	0,389	0,330	0,324	0,343	0,393	0,401	0,385	0,358	0,360	0,352	0,397	0,405	0,418	0,368	0,327	0,308	0,343
Ca	0,000	0,006	0,000	0,000	0,007	0,001	0,000	0,016	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,007	0,000	0,004	0,000	0,002	0,002
Na	0,000	0,006	0,006	0,000	0,000	0,000	0,004	0,015	0,012	0,005	0,000	0,007	0,000	0,007	0,001	0,008	0,000	0,000	0,003	0,005
K	0,010	0,000	0,006	0,008	0,001	0,000	0,002	0,002	0,005	0,013	0,000	0,016	0,000	0,009	0,000	0,007	0,000	0,000	0,011	0,004
Soma	29,215	29,236	29,199	29,302	29,226	29,309	29,266	29,296	29,281	29,331	29,218	29,364	29,185	29,280	29,245	29,254	29,179	29,218	29,215	29,210
#Mg	0,10	0,12	0,13	0,11	0,10	0,09	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,10

Tabela 37: Análises Químicas de estaurolita

DR 349B														
Grão-Análise	st4-1	st4-2	st4-3	st4-4	st4-5	st4-6	st4-7	st5-1	st5-2	st5-3	st5-4	st5-5	st5-6	st5-7
SiO ₂	27,71	27,85	27,54	27,67	27,31	27,39	27,40	27,04	27,64	27,12	27,56	27,11	26,99	27,47
TiO ₂	0,86	0,67	0,59	0,53	0,57	0,68	0,65	0,64	0,65	0,65	0,69	0,63	0,54	0,59
Al ₂ O ₃	53,80	54,28	53,96	53,48	54,81	53,42	54,12	54,20	54,07	53,80	54,33	54,07	54,79	53,95
Cr ₂ O ₃	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 ₂ O ₃	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	12,44	12,46	12,82	12,72	12,56	12,54	12,49	12,71	12,56	12,86	12,85	12,90	12,74	12,75
MnO	0,04	0,06	0,03	0,06	0,09	0,06	0,04	0,05	0,05	0,02	0,04	0,03	0,01	0,03
MgO	0,91	0,91	1,00	0,98	0,88	0,81	0,85	0,74	0,72	0,79	0,80	0,84	0,73	0,78
CaO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04
Na ₂ O	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
K ₂ O	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
Total (%)	95,78	96,23	95,94	95,46	96,23	94,92	95,59	95,46	95,70	95,24	96,26	95,59	95,82	95,62
Oxigênios	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
Si	7,788	7,787	7,742	7,815	7,646	7,776	7,720	7,643	7,776	7,686	7,721	7,657	7,595	7,746
Ti	0,182	0,142	0,125	0,112	0,121	0,145	0,139	0,136	0,137	0,138	0,144	0,133	0,115	0,126
Al	17,826	17,892	17,884	17,807	18,091	17,879	17,978	18,061	17,935	17,976	17,944	18,005	18,178	17,935
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	2,924	2,914	3,014	3,004	2,941	2,977	2,943	3,005	2,955	3,048	3,011	3,047	2,998	3,007
Mn	0,010	0,013	0,006	0,014	0,020	0,015	0,010	0,013	0,013	0,005	0,009	0,007	0,001	0,008
Mg	0,382	0,377	0,419	0,412	0,367	0,343	0,355	0,313	0,302	0,334	0,333	0,355	0,307	0,327
Ca	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,011
Na	0,006	0,000	0,000	0,005	0,004	0,006	0,000	0,008	0,003	0,000	0,001	0,003	0,000	0,002
K	0,004	0,003	0,000	0,003	0,000	0,004	0,010	0,006	0,001	0,000	0,000	0,004	0,002	
Soma	29,122	29,127	29,191	29,174	29,190	29,144	29,157	29,197	29,121	29,188	29,163	29,208	29,203	29,163
#Mg	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,10	0,11	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10

Tabela 38: Análises químicas de estaurolita

Grão-Análise	DR 151B															
	st1-pt1	st1-pt2	st1-pt3	st1-pt4	st1-pt5	st2.2-1	st2.2-2	st2.2-3	st2.2-4	st2.2-5	st2.2-6	st2pt1	st2pt2	st2-pt4	st2-pt5	st2-pt6
SiO ₂	27,65	27,69	27,62	27,59	27,09	27,42	26,80	27,07	27,31	27,18	26,68	27,37	27,53	27,50	27,39	27,02
TiO ₂	0,62	0,57	0,44	0,63	0,59	0,67	0,57	0,60	0,52	0,64	0,88	0,64	0,44	0,48	0,47	0,63
Al ₂ O ₃	54,84	54,05	54,48	54,14	54,37	54,20	54,41	54,01	53,69	53,95	53,77	54,14	54,05	54,09	54,01	53,87
Cr ₂ O ₃	0,03	0,04	0,03	0,03	0,10	0,06	0,01	0,05	0,06	0,07	0,09	0,07	0,05	0,06	0,05	0,06
Fe ₂ O ₃	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
FeO	13,91	14,21	13,98	14,26	14,35	14,21	14,30	14,36	14,28	14,20	13,86	14,42	14,44	14,34	14,59	14,11
MnO	0,02	0,00	0,01	0,04	0,05	0,05	0,00	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,03
MgO	0,82	0,79	0,73	0,75	0,75	0,75	0,82	0,86	0,83	0,86	0,76	0,75	0,76	0,76	0,79	0,80
CaO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,07	0,01
Na ₂ O	0,03	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
K ₂ O	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02
Total (%)	97,93	97,36	97,30	97,49	97,33	97,39	96,95	97,00	96,71	96,98	96,05	97,40	97,33	97,24	97,40	96,55
Oxigênios	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
Si	7,655	7,723	7,696	7,691	7,574	7,652	7,521	7,595	7,678	7,622	7,547	7,644	7,692	7,686	7,657	7,608
Ti	0,128	0,120	0,093	0,131	0,124	0,141	0,121	0,126	0,110	0,136	0,187	0,135	0,093	0,101	0,099	0,134
Al	17,899	17,772	17,897	17,793	17,921	17,832	18,002	17,865	17,796	17,836	17,932	17,826	17,805	17,823	17,801	17,882
Cr	0,007	0,009	0,006	0,006	0,021	0,013	0,003	0,010	0,012	0,016	0,021	0,015	0,010	0,014	0,011	0,013
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	3,221	3,314	3,258	3,325	3,355	3,316	3,356	3,370	3,358	3,330	3,279	3,368	3,374	3,352	3,411	3,323
Mn	0,004	0,000	0,002	0,009	0,012	0,011	0,001	0,005	0,006	0,007	0,000	0,000	0,004	0,000	0,006	0,006
Mg	0,339	0,330	0,305	0,313	0,312	0,312	0,345	0,361	0,346	0,359	0,321	0,312	0,314	0,317	0,330	0,337
Ca	0,005	0,000	0,000	0,000	0,010	0,001	0,000	0,009	0,000	0,002	0,000	0,000	0,013	0,000	0,022	0,003
Na	0,014	0,000	0,005	0,008	0,002	0,000	0,007	0,000	0,000	0,008	0,004	0,001	0,000	0,004	0,002	0,001
K	0,002	0,000	0,000	0,015	0,000	0,009	0,006	0,001	0,000	0,007	0,000	0,004	0,003	0,000	0,000	0,007
Soma	29,273	29,267	29,262	29,290	29,332	29,288	29,362	29,342	29,307	29,324	29,291	29,303	29,309	29,297	29,339	29,314
#Mg	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09

Tabela 39: Análises químicas de estaurolita

Grão-Análise	DR 151B												
	st3-pt1	st3-pt2	st3-pt3	st3-pt4	st3-pt5	st4-pt1	st4-pt2	st4-pt3	st4-pt4	st4-pt5	st4-pt6	st5-pt1	st5-pt2
SiO ₂	27,46	27,03	27,15	26,88	26,89	27,56	26,45	27,23	27,39	27,33	27,28	27,00	27,29
TiO ₂	0,72	0,62	0,64	0,61	0,57	0,67	0,49	0,63	0,59	0,59	0,52	0,47	0,55
Al ₂ O ₃	54,46	53,91	54,00	53,63	53,99	54,35	53,01	54,51	54,05	54,21	53,70	54,50	53,81
Cr ₂ O ₃	0,06	0,05	0,03	0,05	0,10	0,01	0,02	0,02	0,07	0,04	0,05	0,03	0,04
Fe ₂ O ₃	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	13,84	14,34	14,03	14,07	14,10	14,15	15,58	14,35	13,72	14,19	14,13	14,23	14,16
MnO	0,02	0,04	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01
MgO	0,74	0,76	0,78	0,80	0,79	0,79	0,90	0,89	0,85	0,84	0,84	0,91	1,01
CaO	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
Na ₂ O	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
K ₂ O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,03	0,04
Total (%)	97,31	96,77	96,65	96,11	96,52	97,55	96,50	97,67	96,68	97,25	96,57	97,22	96,93
Oxigênios	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
Si	7,652	7,602	7,629	7,604	7,576	7,671	7,519	7,583	7,679	7,637	7,677	7,553	7,654
Ti	0,150	0,131	0,134	0,130	0,121	0,140	0,105	0,131	0,125	0,123	0,111	0,100	0,115
Al	17,891	17,874	17,889	17,886	17,934	17,834	17,765	17,896	17,864	17,858	17,815	17,973	17,792
Cr	0,013	0,011	0,007	0,011	0,021	0,002	0,005	0,005	0,015	0,008	0,010	0,007	0,010
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	3,225	3,373	3,297	3,329	3,323	3,294	3,704	3,342	3,217	3,316	3,325	3,329	3,321
Mn	0,004	0,008	0,003	0,006	0,004	0,003	0,005	0,007	0,003	0,005	0,005	0,008	0,002
Mg	0,307	0,318	0,325	0,337	0,331	0,328	0,383	0,368	0,354	0,351	0,350	0,381	0,424
Ca	0,000	0,008	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,003
Na	0,000	0,000	0,006	0,011	0,019	0,001	0,000	0,003	0,000	0,003	0,007	0,007	0,006
K	0,004	0,000	0,000	0,000	0,010	0,002	0,010	0,004	0,000	0,000	0,006	0,011	0,014
Soma	29,247	29,325	29,291	29,322	29,339	29,273	29,496	29,339	29,257	29,308	29,307	29,367	29,341
#Mg	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11

Tabela 40: Análises Químicas de plagioclásio

Grão-Análise	DR 039																
	plag1-1	plag1-2	plag1-3	plag2-1	plag2-2	plag2-3	plag3-1	plag3-2	plag3-3	plag4-1	plag4-2	plag4-3	plag5-1	plag5-2	plag5-3	plag6-1	plag6-2
SiO ₂	61,17	58,87	60,92	58,65	54,44	58,47	56,37	59,43	55,52	55,40	57,79	57,70	59,30	56,68	57,96	56,96	57,64
TiO ₂	0,02	0,04	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,06	0,02	0,02	0,03	0,07	0,00	0,07	0,00
Al ₂ O ₃	24,68	26,94	25,35	26,59	29,20	26,13	28,23	26,09	28,53	29,24	27,30	27,28	25,91	27,85	27,03	27,29	27,05
Cr ₂ O ₃	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 ₂ O ₃	0,16	0,16	0,10	0,14	0,16	0,40	0,16	0,22	0,16	0,21	0,21	0,23	0,24	0,21	0,20	0,55	0,32
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	0,00	0,00	0,00
MnO	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
MgO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00
CaO	5,49	7,70	6,50	7,45	10,64	7,01	9,53	7,10	10,15	10,55	8,38	8,42	7,30	9,13	8,14	7,68	8,11
Na ₂ O	7,99	7,32	7,66	7,19	5,46	7,35	6,06	7,49	5,81	5,58	6,68	6,82	7,61	6,47	6,99	6,37	6,68
K ₂ O	0,88	0,08	0,07	0,11	0,08	0,05	0,08	0,08	0,08	0,05	0,10	0,07	0,05	0,08	0,09	0,52	0,08
Total (%)	100,41	101,13	100,60	100,24	99,98	99,49	100,44	100,43	100,31	101,09	100,48	100,55	100,45	100,49	100,42	99,57	99,90
Oxigênios	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2,712	2,601	2,689	2,611	2,454	2,622	2,519	2,638	2,491	2,468	2,574	2,570	2,636	2,532	2,583	2,562	2,580
Ti	0,001	0,001	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000
Al	1,290	1,403	1,319	1,396	1,552	1,381	1,488	1,366	1,509	1,536	1,433	1,432	1,358	1,467	1,420	1,447	1,428
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,005	0,005	0,003	0,005	0,005	0,014	0,005	0,007	0,006	0,007	0,007	0,008	0,008	0,007	0,007	0,019	0,011
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Mg	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000
Ca	0,261	0,365	0,307	0,355	0,514	0,337	0,456	0,338	0,488	0,504	0,400	0,402	0,348	0,437	0,389	0,370	0,389
Na	0,687	0,627	0,656	0,621	0,477	0,639	0,525	0,645	0,505	0,482	0,577	0,589	0,656	0,561	0,604	0,556	0,580
K	0,050	0,004	0,004	0,006	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005	0,003	0,006	0,004	0,003	0,004	0,005	0,030	0,005
Soma	5,008	5,009	4,979	4,998	5,008	5,001	4,999	4,999	5,005	5,001	4,997	5,006	5,010	5,011	5,008	4,995	4,993
Anortita	27,53%	36,79%	31,88%	36,37%	51,87%	34,53%	46,48%	34,38%	49,14%	51,12%	40,94%	40,57%	34,66%	43,79%	39,17%	39,96%	40,14%

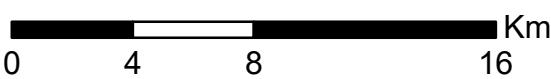
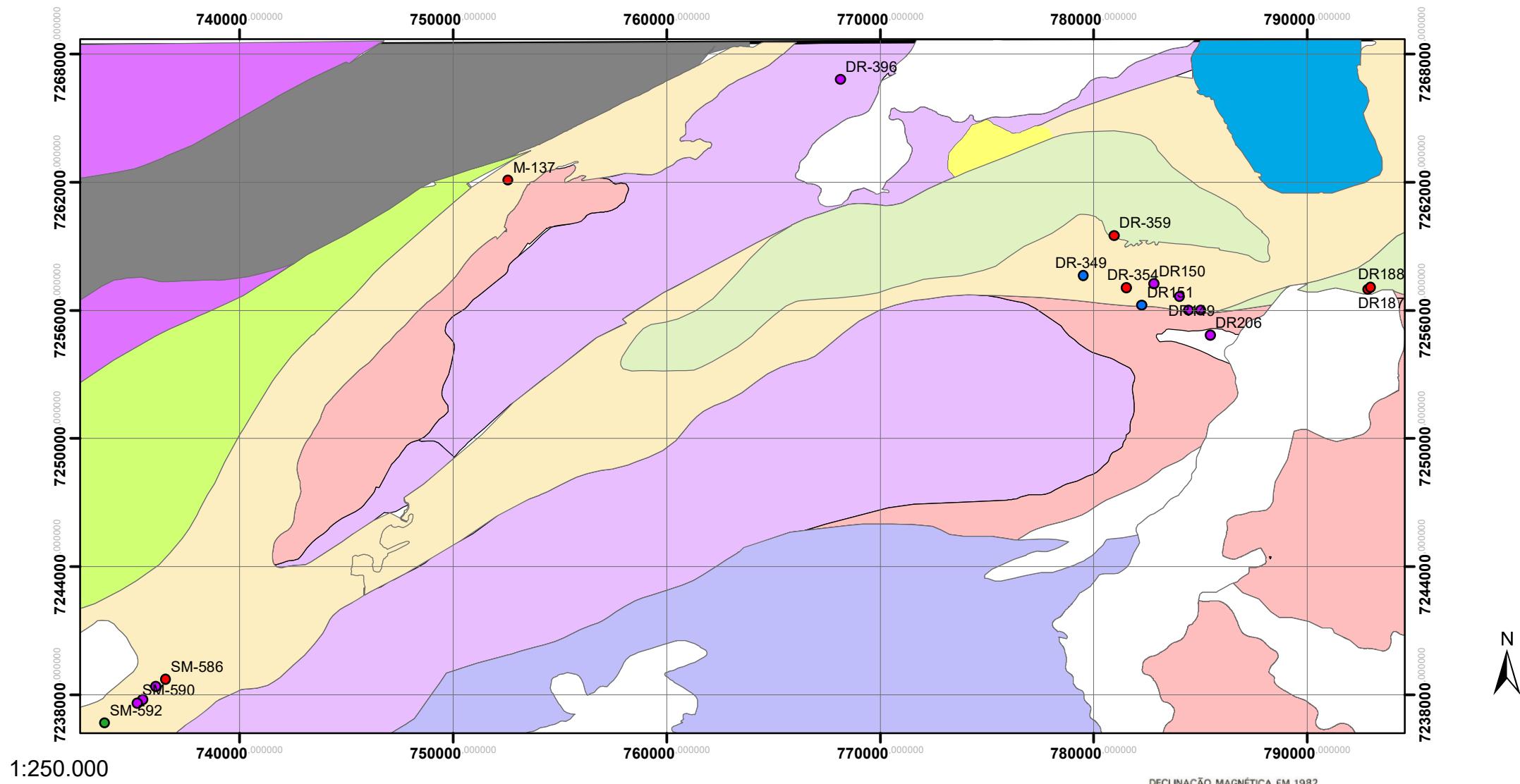
Tabela 41: Análises Químicas de plagioclásio

DR 039				DR 396															
Grão-Análise	plag7-1	plag7-2	plag7-3	plg4	plg5	plg6	plg8	plg9	plg10	plg11	plg14	plg15	plg16-1	plg16-2	plg16-3	plg16-4	plg17	plg18	plg19
SiO ₂	56,69	56,23	56,20	57,83	56,89	57,56	56,80	57,37	58,60	58,26	56,35	58,17	56,61	57,31	56,70	56,36	57,98	58,01	57,99
TiO ₂	0,06	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,05	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,06	0,00	0,00	0,03
Al ₂ O ₃	27,98	27,81	27,73	27,09	27,37	27,48	27,94	27,33	26,78	26,86	27,95	26,73	28,00	27,54	27,50	27,75	26,66	26,84	26,64
Cr ₂ O ₃	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	0,00
Fe ₂ O ₃	0,38	0,37	0,31	0,13	0,10	0,14	0,08	0,14	0,06	0,18	0,21	0,05	0,13	0,07	0,07	0,20	0,17	0,06	0,20
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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	9,09	9,01	8,80	8,51	9,09	9,00	9,31	8,62	8,00	8,17	9,33	8,23	9,43	8,86	8,98	9,43	7,91	8,35	7,81
Na ₂ O	6,18	6,42	6,33	6,80	6,51	6,68	6,17	6,55	7,10	6,75	6,13	6,92	6,12	6,64	6,43	6,04	7,16	6,71	7,18
K ₂ O	0,05	0,10	0,08	0,19	0,17	0,17	0,15	0,15	0,05	0,22	0,11	0,17	0,15	0,08	0,14	0,18	0,24	0,22	0,19
Total (%)	100,43	99,94	99,47	100,56	100,14	101,06	100,50	100,18	100,59	100,46	100,08	100,26	100,47	100,51	99,84	100,02	100,13	100,19	100,03
Oxigênios	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2,532	2,527	2,534	2,577	2,550	2,556	2,535	2,565	2,603	2,594	2,527	2,595	2,529	2,556	2,547	2,530	2,593	2,591	2,595
Ti	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001
Al	1,473	1,474	1,474	1,423	1,446	1,439	1,470	1,441	1,402	1,410	1,478	1,406	1,475	1,448	1,456	1,469	1,406	1,413	1,405
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ₃₊	0,013	0,013	0,011	0,004	0,004	0,005	0,003	0,005	0,002	0,006	0,007	0,002	0,004	0,002	0,002	0,007	0,006	0,002	0,007
Fe ₂₊	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,435	0,434	0,425	0,406	0,437	0,428	0,445	0,413	0,381	0,390	0,448	0,393	0,451	0,423	0,432	0,454	0,379	0,400	0,374
Na	0,535	0,559	0,553	0,587	0,566	0,575	0,534	0,568	0,611	0,583	0,533	0,599	0,530	0,574	0,560	0,526	0,621	0,581	0,623
K	0,003	0,006	0,005	0,011	0,010	0,010	0,008	0,008	0,003	0,013	0,006	0,009	0,009	0,004	0,008	0,010	0,014	0,012	0,011
Soma	4,993	5,012	5,002	5,009	5,013	5,014	4,998	5,000	5,002	4,995	5,000	5,005	5,000	5,008	5,007	4,998	5,019	4,999	5,015
Anortita	44,85%	43,71%	43,46%	40,89%	43,57%	42,67%	45,45%	42,10%	38,41%	40,08%	45,67%	39,62%	45,97%	42,43%	43,55%	46,33%	37,90%	40,77%	37,51%

Tabela 42: Análises Químicas de plagioclásio

Grão-Análise	SM 528A										DR 151B											
	plg1-1	plg1-2	plg1-3	plg2-1	plg2-2	plg2-3	plg3-1	plg3-2	plg3-3	plg4-1	plg4-2	plg1-1	plg1-2	plg1-3	plg2-1	plg2-2	plg2-3	plg2-4	plg2-5	plg3-1	plg3-3	plg3-4
SiO ₂	65,15	64,57	63,95	66,19	65,27	64,89	67,03	65,24	64,35	67,63	65,57	67,25	66,67	66,19	67,54	67,55	67,18	66,87	66,76	68,53	67,42	67,99
TiO ₂	0,03	0,00	0,06	0,03	0,05	0,04	0,01	0,03	0,04	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,11	0,07	0,00
Al ₂ O ₃	21,67	21,90	21,49	22,18	21,78	21,60	21,69	21,94	22,05	20,85	21,38	21,47	21,23	21,16	19,65	19,95	19,89	20,14	19,78	20,23	20,14	19,94
Cr ₂ O ₃	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	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,21	0,21	0,24	0,12	0,12	0,14	0,28	0,21	0,14	0,19	0,18	0,05	0,01	0,04	0,13	0,09	0,03	0,03	0,10	0,06	0,03	0,00
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	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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
CaO	2,15	2,27	2,29	2,14	1,82	2,01	0,98	2,22	2,69	1,06	1,67	1,03	1,01	1,02	0,24	0,29	0,37	0,47	0,29	0,32	0,35	0,19
Na ₂ O	10,10	10,56	10,61	10,10	10,33	10,46	10,75	10,30	10,16	10,89	10,48	10,70	11,10	11,03	11,55	12,03	11,52	11,36	11,89	11,23	11,56	11,49
K ₂ O	0,14	0,10	0,10	0,10	0,36	0,15	0,14	0,17	0,15	0,05	0,10	0,04	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,08	0,05	0,05	0,06
Total (%)	99,45	99,62	98,74	100,86	99,74	99,32	100,87	100,11	99,59	100,71	99,38	100,54	100,10	99,50	99,19	99,98	99,04	98,92	98,96	100,51	99,64	99,66
Oxigênios	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2,878	2,856	2,857	2,879	2,877	2,874	2,910	2,867	2,848	2,938	2,895	2,923	2,918	2,915	2,977	2,961	2,967	2,957	2,958	2,975	2,960	2,978
Ti	0,001	0,000	0,002	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,002	0,000	
Al	1,129	1,142	1,132	1,137	1,132	1,128	1,110	1,137	1,151	1,068	1,113	1,100	1,095	1,099	1,021	1,031	1,035	1,050	1,033	1,035	1,042	1,030
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fe ₃	0,007	0,007	0,008	0,004	0,004	0,005	0,009	0,007	0,005	0,006	0,006	0,002	0,000	0,001	0,004	0,003	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001	0,000
Fe ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Ca	0,102	0,108	0,110	0,100	0,086	0,095	0,045	0,105	0,128	0,050	0,079	0,048	0,047	0,048	0,011	0,013	0,017	0,022	0,014	0,015	0,016	0,009
Na	0,865	0,906	0,919	0,852	0,883	0,898	0,905	0,878	0,872	0,917	0,897	0,902	0,942	0,942	0,987	1,023	0,986	0,974	1,021	0,945	0,984	0,976
K	0,008	0,006	0,006	0,006	0,020	0,009	0,008	0,009	0,009	0,003	0,006	0,002	0,005	0,004	0,003	0,002	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Soma	4,990	5,025	5,034	4,978	5,005	5,012	4,987	5,004	5,013	4,983	4,996	4,978	5,008	5,008	5,005	5,035	5,010	5,006	5,036	4,977	5,010	4,996
Anortita	10,55%	10,65%	10,69%	10,50%	8,88%	9,57%	4,74%	10,68%	12,80%	5,17%	8,09%	5,05%	4,75%	4,85%	1,10%	1,25%	1,69%	2,21%	1,35%	1,56%	1,60%	0,91%

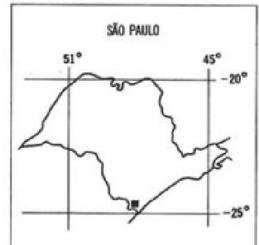
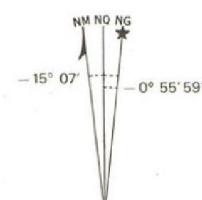
Mapa Geológico com a localização das amostras



Datum: SAD 69 Zona 22S

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 1982
E CONVERGÊNCIA MERIDIANA
DO CENTRO DA FOLHA

LOCALIZAÇÃO DA FOLHA
NA UNIDADE DA FEDERAÇÃO



Fanerozoico

Neoproterozoico

Meso-Paleoproterozoico

Minerais Índices

Rochas alcalinas

Alto Fm. Turvo-Cajati (Ky/Sill xisto)

Complexo Atuba

○ Lâmina

● sill

Baixo TCF

Medio Fm. Turvo-Cajati (Grt/Sill-St xisto)

Complexo Serra Negra

● bt

● sill+st

Bacias Sedimentares

Formação Capiru

Serra das Andorinhas

● chl

● st

Granitos Ediacaranos

Votuveraba

● grit

A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA
CRESCE -9° ANUALMENTE