

**Petrologia de Mármores Impuros da Fácies Anfibolito Superior: Relações,
Associações Minerais e Controle dos Fluidos no Metamorfismo**

TF 22/22

**Autor: Guilherme Henryk Beltrame Barbosa Bastos
Orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes (GMG-IGc-USP)**

**São Paulo
2022**

Agradecimentos

Agradeço à todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste TF/TCC.

Agradeço a minha família que sempre se mostrou interessada enquanto eu falava sobre as rochas que eu estudava, e que sempre esteve preparada para me ajudar com o que pudessem.

Agradeço à todos os professores do Instituto de Geociências da USP, que me guiaram em uma viagem: ao redor do mundo, ao interior do mundo e ao passado do mundo. E me fizeram perceber a complexidade sobre a qual estamos, e sempre estivemos, inseridos.

Agradeço imensamente ao meu orientador, prof. Renato de Moraes, que sempre esteve disponível para me ajudar, sempre tinha um bom artigo para que eu lesse para entender melhor, e que desde o curso de Petrologia metamórfica vêm me mostrado a beleza das rochas metamórficas.

Com isto, eu tenho um agradecimento especial aos professores das disciplinas de Mineralogia e de Petrologia Metamórfica, por proporcionarem condições de aprendizado que deixaram tão interessado pelas disciplinas, que não apenas fui monitor de ambas, mas cujos conhecimentos adquiridos corresponderam à grande parte deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos e colegas de turma, sobretudo à: Sara (Tey), Sara (Syd), Vinícius (Muriçoca) e Mateus (Beto). Por todas as vezes neste último ano que nós conversamos sobre nossos próprios TFs, e com isto me levou a entender vários pontos em que eu poderia melhorar.

Tenho um agradecimento especial a fazer aos meus amigos mais queridos: Felipe P. (Pizza), Paulo B. (Paulinho), Tiago S. (Toupeira), Ana M. (Aninha) e Pedro B. (Pedrão, o Conquistador). Por sempre estarem comigo, sendo fisicamente, sendo pela internet, sendo em pensamento. Muitos dias durante esta graduação só foram bons pela presença de vocês.

Agradeço aos técnicos e funcionários dos laboratórios do IGC, sobretudo à: Samuca, que foi o único que conseguiu me ajudar em muitos momentos com as minhas amostras; ao Marcos e Laissa, da Microssonda, que me ensinaram a pilotar essa máquina mágica; Zé Paulo do Laboratório de Fluorescência de Raios X – NAP GeoAnalítica-USP, que me guiou na preparação das pastilhas, e que conseguiu terminar as análises rapidamente, mesmo que muito em cima do prazo.

Agradeço imensamente à mineração Correa que nos permitiu realizar nossas pesquisas em suas cavas e que nos tratou como se nós fôssemos de casa.

SUMÁRIO

RESUMO	4
1. INTRODUÇÃO	4
1.1 Localização espacial	5
2. OBJETIVOS E METAS	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 Geologia Regional	6
3.2 Rochas carbonáticas e calcissilicáticas na fácies anfibolito - granulito	9
3.3 Análises químicas laboratoriais	10
3.4 Pseudosseções	11
4. MÉTODOS	12
4.1 Microscopia ótica	12
4.2 Microssonda eletrônica	12
4.3 Fluorescência de raios X (FRX)	13
4.4 Modelagem de pseudosseções	13
5. RESULTADOS OBTIDOS	14
5.1 Atividade de campo e microscopia ótica	14
5.1.1 Cava velha (GB01)	14
5.1.2 Cava nova (GB02)	21
5.2 Microssonda eletrônica	22
5.3 FRX	23
6. INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	24
6.1 Análise dos afloramentos e microscopia	24
6.2 Química mineral	27
6.2.1 Olivina	28
6.2.2 Piroxênios	30
6.2.3 Anfibólios	32
6.2.4 Carbonatos	35
6.3 Pseudosseções TxXCO ₂	38
7. CONCLUSÃO	42
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
9. Programas e tabelas utilizados	44
ANEXOS	46
Anexo A	47
Anexo B	68
Anexo C:	113

RESUMO

As rochas de estudo deste trabalho são dois corpos de mármore dolomítico impuro e rochas calcissilicáticas, espacialmente inseridos no Terreno Embu, no Orógeno Ribeira partir de observações de campo, foi constatada a presença de ao menos três tipos de intrusões de rochas magmáticas. A observação em lâmina revelou a paragênese de forsterita (Mg-olivina) e diopsídio (CaMg-clinopyroxênio) estáveis com calcita e dolomita, indicando que se trata de metamorfismo regional da fácie anfibolito superior a granulito. Análises químicas (microssonda eletrônica e fluorescência de raio x (FRX)) revelam um caráter extremamente pobre em FeO e Al₂O₃, o que levou à mineralização de cristais próximos do puramente magnesiano. A análise por pseudossecções indica temperaturas de pico metamórfico entre 660±2 e 900±15°C, dependentes da pressão, com partição de gás carbônico dos fluidos maior do que 10-20%.

ABSTRACT

The rocks studied in this thesis are two impure dolomitic marbles and calcsilicate rocks, spatially inserted in the Embu Terrane, Ribeira Orogen. There were identified at least three magmatic intrusions, while doing field work. Observation in thin section revealed the paragenesis: forsterite (Mg-olivine) + diopside (CaMg-clinopyroxene) + calcite + dolomite, indicating metamorphic conditions of high-amphibolite to granulite. Chemical analysis done by electron microprobe and X ray fluorescence XRF reveal an extremely poor FeO and Al₂O₃ content, bringing the paragenesis to near pure Mg-minerals. Pseudosections done on these rocks indicate peak temperatures between 660±2 and 990±15°C, depending on pressure, with XCO₂ higher than 10-20%.

1. INTRODUÇÃO

Mármores são o produto do metamorfismo de rochas carbonáticas sedimentares (Bücher e Grapes, 2011), i.e., calcários e dolomitos, rochas cujos minerais carbonáticos principais são respectivamente calcita (CaCO₃) e dolomita (CaMg(CO₃)₂), com quantidades variadas de quartzo (SiO₂) e argila. Dependendo-se da quantidade de aporte de sedimentos terrígenos (areia e argila), forma-se uma graduação entre rochas carbonáticas e pelitos, tendo nas margas, um meio termo, o qual em seu metamorfismo, pode formar rochas inteiramente silico-aluminosas, sem presença de minerais carbonáticos (Rosen, Fettes e Desmons, 2007). Possuem seu sistema químico formado por mistura de óxidos de cálcio (CaO), magnésio (MgO) e sílica (SiO₂) e mistura de fluidos dominante aquosos e carbônicos (H₂O e CO₂), potencialmente com quantidades menores de outros óxidos, como os de alumínio (Al₂O₃), sódio (Na₂O) e potássio (K₂O).

Contudo, diferentemente de rochas puramente carbonáticas, o metamorfismo de calcários impuros e margas é representado por sistema mais complexo. Uma vez que variações pequenas de composição inicial, aliadas à variações do conteúdo químico dos fluidos percolantes, são capazes de resultar em associações minerais muito diversas, em diferentes níveis de um mesmo corpo rochoso.

O presente trabalho, por conseguinte, visa realizar a investigação petrológica e classificação para rochas carbonáticas. Para tanto, tendo como objeto de estudo, corpos de mármore lavrados pela mineração Correa (aprox. 22.630132°S 45.491249°W em coordenadas geográficas) (Figura 1) no município de Campos do Jordão, na divisa entre Minas Gerais e São Paulo, acessível pela Estrada dos Marmelos, que liga a porção norte de Campos do Jordão (SP) à Piranguçu (MG) havendo a distinção entre 2 corpos de mármore (Figura 2), mas presumindo-se encontrarem em semelhantes condições metamórficas.

Em campo, foi observado que o corpo denominado “Cava Velha” se encontrava inserido entre gnaisses e migmatitos, em um formato aproximadamente lenticular, contudo não sendo possível observar os contatos do mármore com as demais rochas encaixantes. Enquanto isso, apesar de ser observada apenas a porção mais superior e superficial do corpo denominado “Cava Nova”, foi constatado que se encontrava inserido em um pacote metassedimentar quartzítico, não sendo possível identificar um formato aproximado, havendo uma variação brusca entre o mármore e as rochas metapelíticas do entorno.

1.1 Localização espacial

Espacialmente, o local de estudo se encontra no município de Campos do Jordão, na fronteira entre os estados de São Paulo com Minas Gerais, em proximidade à serra da Mantiqueira, exatamente nas coordenadas 23K 449401E - 7497464S (45,492254°E - 22,629665°S), para a cava velha (Figura 2) e 23K 450880E - 7497539S (45,478019°E - 22,628566°S) para a cava nova (Figura 2).



Figura 1: Localização da Mineração Corrêa, 15 km a nordeste de Campos do Jordão, SP.

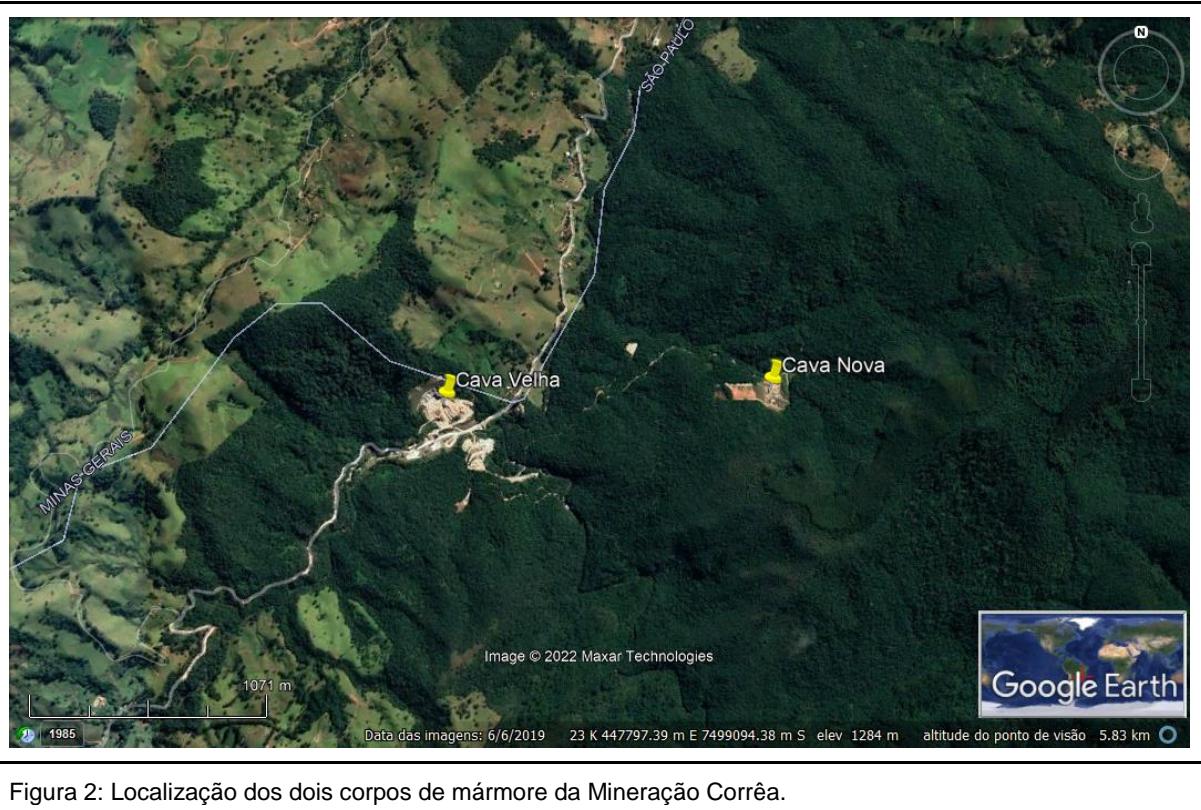


Figura 2: Localização dos dois corpos de mármore da Mineração Corrêa.

2. OBJETIVOS E METAS

O objetivo deste trabalho se relaciona ao estudo da petrologia dos marmores metamorfizados em condições da fácie anfibolito superior a granulito, estudados inicialmente por Alves (1976). De maneira a se determinar as condições metamórficas que levaram a sua formação. Incluindo-se tanto às condições relacionadas ao metamorfismo regional, quanto às condições impostas ao mármore pelo metamorfismo de contato observado em campo.

Assim, se espera, por meio da modelagem termodinâmica, na forma de pseudoseções determinar as condições de temperatura e pressão aos quais as rochas foram submetidas durante o metamorfismo regional, a composição dos fluidos presentes durante o metamorfismo regional e de contato, e as influências proporcionadas pelas intrusões magmáticas. Assim, podendo aprofundar os conhecimentos existentes tanto sobre estas rochas, quanto à região na qual se encontram inseridas

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Geologia Regional

Segundo os trabalhos de Campos Neto e colaboradores (Campos Neto e Caby (1999), Campos Neto e Caby (2000), Campos Neto et. al (2004) e Campos Neto et. al (2007), identificam a região como pertencente à porção sudeste (SE) da Nappe (massa rochosa alóctone que apresenta dobramentos recumbentes, se encontrando “empurrada” à mais de 100km de sua área fonte) Socorro-Guaxupé, mais especificamente, ao lobo Socorro (Figura 3). A nappe apresenta 3 unidades distintas (Campos Neto et al, 2004): Unidade Migmatítica Superior; Unidade Diatexítica Intermediária e Unidade Granulítica Basal.

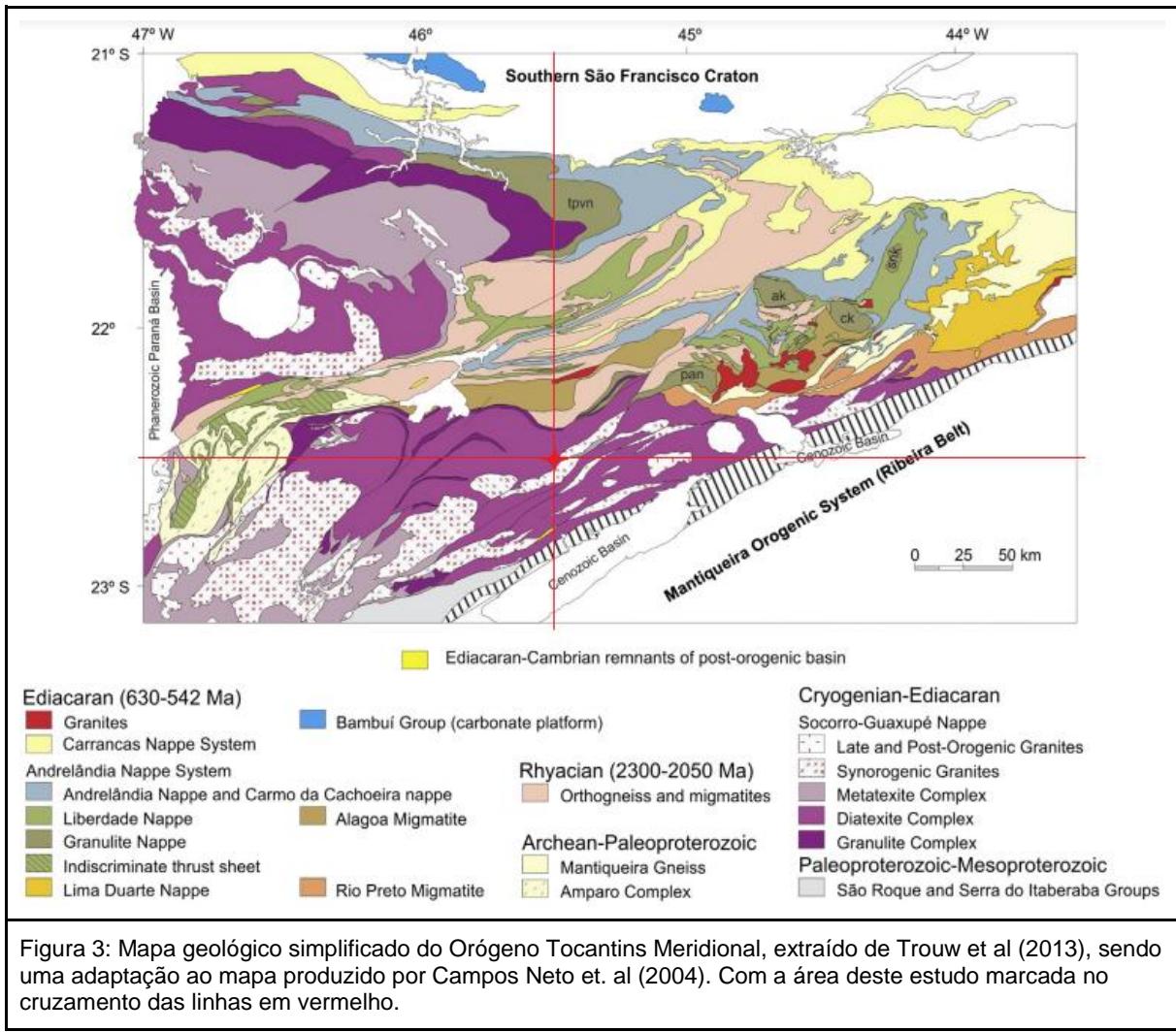
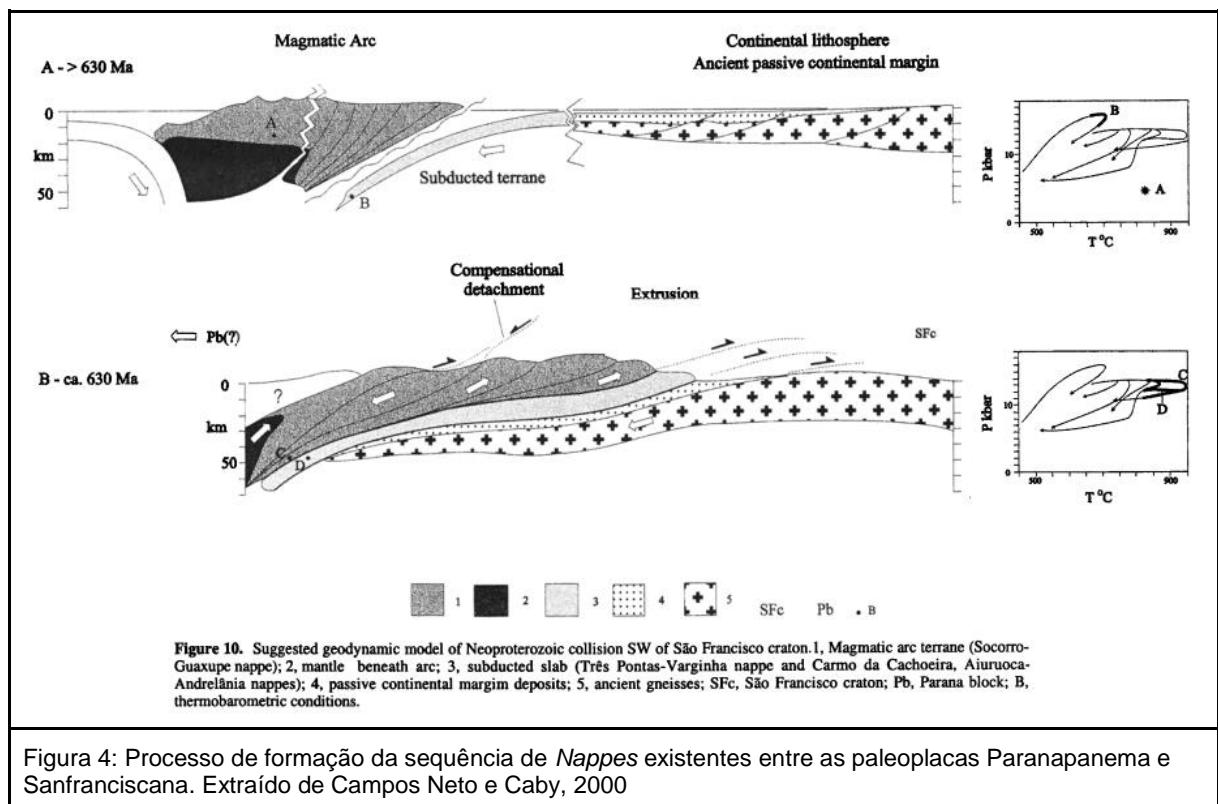


Figura 3: Mapa geológico simplificado do Orógeno Tocantins Meridional, extraído de Trouw et al (2013), sendo uma adaptação ao mapa produzido por Campos Neto et al (2004). Com a área deste estudo marcada no cruzamento das linhas em vermelho.

A formação da *Nappe Socorro-Guaxupé* estaria ligada à subducção e colisão entre as paleoplacas Paranapanema e Sanfranciscana, no evento do fechamento do paleo-oceano Goianides durante o Neoproterozóico (Campos Neto et al, 2004). Sendo existente um padrão inverso de metamorfismo (Campos Neto e Caby (1999); Campos Neto e Caby (2000); Campos Neto et al. (2004)) na qual devido aos esforços tectônicos, haveria um extravasamento (Figura 4) e nappeamento de litologias de maior grau metamórfico (*Nappe Socorro-Guaxupé*) por cima de unidades nappeadas de menor grau metamórfico (*Nappes Andrelândia* e *Carrancas*).

A *Nappe Socorro-Guaxupé* teria se formado a partir de rochas de crosta continental profunda, presentes na raiz de um arco magmático desenvolvido na margem ativa da placa Paranapanema (Campos Neto e Caby (2000) e Campos Neto et al (2004)), que foram comprimidos e eventualmente empurrados para cima da placa subductante (Sanfranciscana), formando vários sistemas de *Nappes* neste processo, até a sutura das duas paleoplacas (Figura 4): A *Nappe Socorro-Guaxupé*, posicionada estruturalmente acima das demais, formada por rochas profundas de arco magmático (Campos Neto e Caby (2000) e Campos Neto et al (2004)); que cavalga as rochas do Sistema de *Nappes Andrelândia* (Três Pontas-Varginha, Aiuroca-Andrelândia, etc) (Campos Neto et. al, 2004) que representam a crosta oceânica subductada e estirada; que cavalam a sequência de *Nappes Lima Duarte* e *Carrancas* (Campos Neto et al., 2004; Campos Neto et al., 2007), cada uma sotoposta à anterior, que representam os sedimentos de margem passiva da paleoplaca Sanfranciscana.

Em relação às condições metamórficas a qual a Nappe Socorro-Guaxupé atingiu, Campos Neto et al. (2004) compila as seguintes condições de pico metamórfico: $900 \pm 50^\circ\text{C}$ a $6,5 \pm 2$ kbar para a unidade mais superior; 850°C a 14 kbar na unidade basal da nappe. Com condições marcadas de retrometamorfismo observado na em: granulitos à $740 \pm 10^\circ\text{C}$ e 9±1,2 kbar, e gnaisses migmatíticos à 750°C e 5,5 kbar.



Contudo, há outra linha de pesquisa, representada por Trouw et al (2013) (Figura 5) e Vinagre et al (2016), observável nas Folhas Pindamonhangaba (SF-23-Y-B-VI) e Campos do Jordão (SF-23-Y-B-V), dentre outras, produzidas pela CPRM em 2014. Que seria o posicionamento dos corpos de mármore estudados dentro do Terreno Embú. Uma vez que em seus artigos explicam que ao invés de uma transição brusca, por meio da zona de cisalhamento dos “milonitos do rio Jaguari” que separaria a Nappe Socorro-Guaxupé (e Faixa Brasília) do Terreno Embú (e Faixa Ribeira Central), o mapeamento de detalhe, em escala 1:50.000 indicou que não haviam mudanças significativas de litologia em ambos os lados da zona de cisalhamento.

Ao invés disso, sendo observadas não apenas uma transição contínua das rochas metassedimentares do Terreno Embú aos batólitos e ortognaisses da Nappe Socorro (Trouw et al, 2013), mas também observando intrusões magmáticas do batólito Serra da Água Limpa, que compõe a porção central da Nappe Socorro, nas rochas metassedimentares do Complexo Embú, com datações de 640Ma. Isso indica que o Complexo Embú estaria presente junto ao arco magmático Socorro-Guaxupé antes da colisão das paleoplacas Paranapanema e Sanfranciscana e formação da nappe.

Ambas teorias apresentam seus méritos, de tal forma que este trabalho não buscará nem afirmar, nem refutar qualquer uma das duas, preferindo-se seguir neutramente, de forma a não ser enviesado para qualquer uma das duas teorias. Uma vez que os dados obtidos devem se referir a uma escala de trabalho de várias ordens de magnitude menor do que as questões regionais às quais são abordadas por estas teorias. Apresentando dados

em uma escala que permite variações muito maiores que não afetariam as condições médias observadas na região.

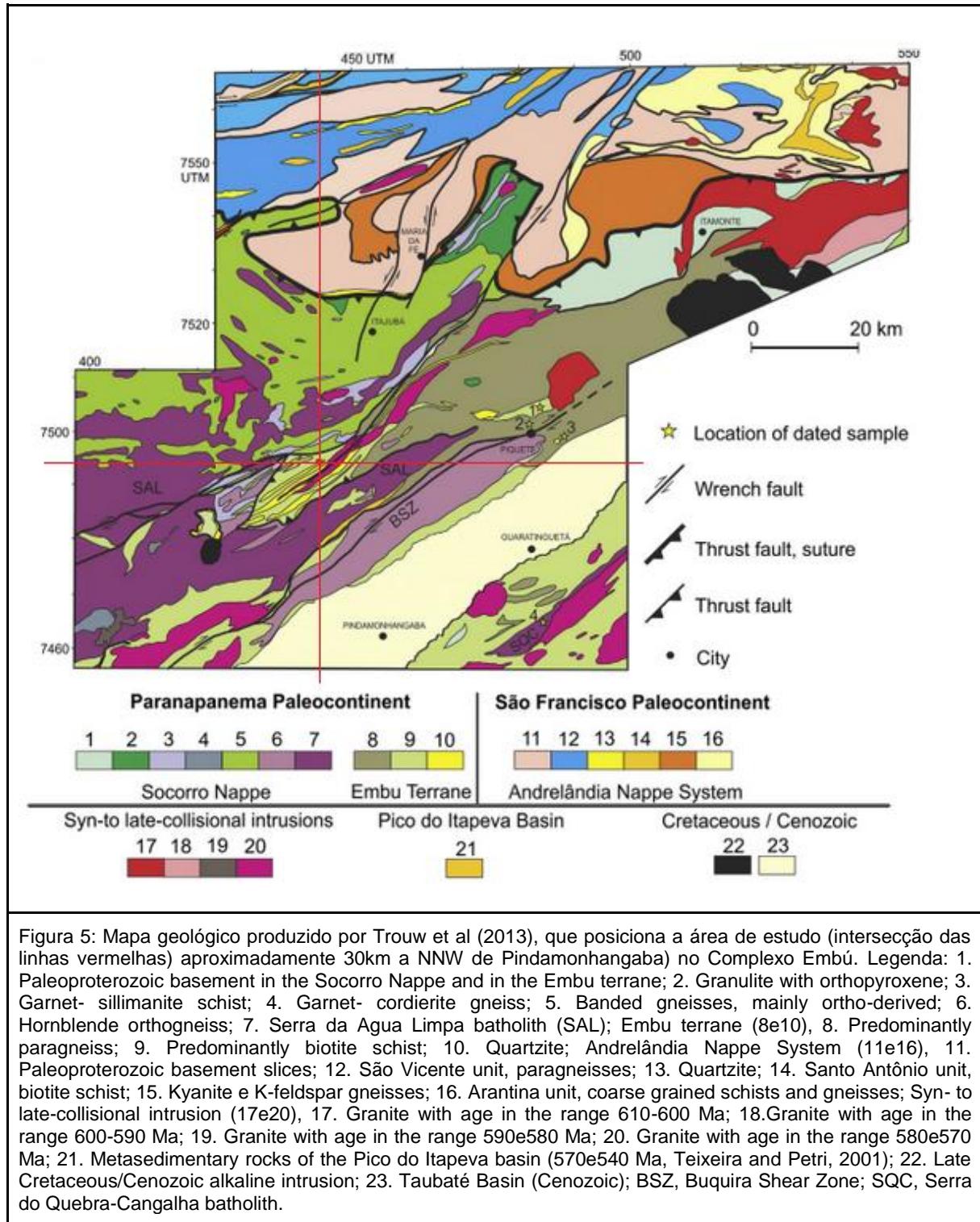


Figura 5: Mapa geológico produzido por Trouw et al (2013), que posiciona a área de estudo (intersecção das linhas vermelhas) aproximadamente 30km a NNW de Pindamonhangaba) no Complexo Embú. Legenda: 1. Paleoproterozoic basement in the Socorro Nappe and in the Embu terrane; 2. Granulite with orthopyroxene; 3. Garnet- sillimanite schist; 4. Garnet- cordierite gneiss; 5. Banded gneisses, mainly ortho-derived; 6. Hornblende orthogneiss; 7. Serra da Agua Limpa batholith (SAL); Embu terrane (8e10), 8. Predominantly paragneiss; 9. Predominantly biotite schist; 10. Quartzite; Andrelândia Nappe System (11e16), 11. Paleoproterozoic basement slices; 12. São Vicente unit, paragneisses; 13. Quartzite; 14. Santo Antônio unit, biotite schist; 15. Kyanite e K-feldspar gneisses; 16. Arantina unit, coarse grained schists and gneisses; Syn- to late-collisional intrusion (17e20), 17. Granite with age in the range 610-600 Ma; 18. Granite with age in the range 600-590 Ma; 19. Granite with age in the range 590e580 Ma; 20. Granite with age in the range 580e570 Ma; 21. Metasedimentary rocks of the Pico do Itapeva basin (570e540 Ma, Teixeira and Petri, 2001); 22. Late Cretaceous/Cenozoic alkaline intrusion; 23. Taubaté Basin (Cenozoic); BSZ, Buquirá Shear Zone; SQC, Serra do Quebra-Cangalha batholith.

3.2 Rochas carbonáticas e calcissilicáticas na fácies anfibolito - granulito

Bücher e Grapes (2011) e Yardley (1989) em seus livros didáticos sobre a petrologia metamórfica comentam, em seus capítulos dedicados à rochas carbonáticas, sobre as várias características intrínsecas ao estudo aprofundado deste tipo de rocha. Como a grande importância dada não apenas à presença de fluidos, mas também às características químicas deste fluido (XCO_2), uma vez que para diferentes sistemas químicos carbonáticos,

em diferentes pressões, fluidos mais, ou menos ricos em CO₂ levarão à formação de mineralogias diferentes, com uma destas distinções se relacionando à formação de olivina (forsterita) ou diopsídio (piroxênio) em condições de fácies anfibolito.

Yardley (1989) vai mais além, indicando que após a formação ou de olivina, ou de piroxênio, um indicativo de maior grau metamórfico (anfibolito superior) se dá na situação de que ambos se encontram estáveis junto de um carbonato (geralmente dolomita). Com o avanço à fácie granulito geralmente levando ao consumo de piroxênio e permanência de olivina + carbonatos.

Este sistema químicos simples (Mg-Si-Ca) tratados mais extensivamente por ambos constitui a base do estudo de mármores e mármores dolomíticos. Acrescentando à esta base simples elementos como Fe, levam à realização de trocas catiônicas de Mg por Fe; a adição de Al acarreta na formação de fases aluminosas, como a clorita, que tende a se manter estável até condições de fácie granulito, na qual tende à ser consumida para a formação de espinélio; etc. Com a maior, ou menor presença de elementos químicos no sistema estando relacionada principalmente à quantidade de argila/argilominerais no protólito sedimentar.

Em sistemas deposicionais na qual há um substancial aporte sedimentar clástico (argila e areia), associado à precipitação e deposição de carbonatos, que constituem as rochas denominadas “margas”, são esperados produtos de metamorfismo de alta variabilidade local, que geralmente resultam em rochas calcissilicáticas.

Estas rochas, apesar de muitas vezes serem “quebra-cabeças” geológicos, se mostram muito úteis no estudo do metamorfismo regional, uma vez que tendem a possuir campos de estabilidade de paragêneses com condições pouco variantes, de tal forma que há alterações da paragênese com pouca mudança de temperatura ou pressão.

O mesmo já não pode ser dito para mármores muito puros, ou com pouca quantidade de elementos não Ca-Si-Mg. Uma vez que se mostra difícil à identificação própria da pressão à qual um mármore foi metamorfizado, estudando-se apenas o mármore. De tal forma que com grande frequência, o estudo de condições metamórficas em mármores se foca na identificação de um intervalo de temperaturas à qual a rocha poderia estar inserida (Maurice et al, 2006), considerando-se uma determinada pressão, identificada pelo estudo de rochas não carbonáticas próximas (Bucher, 1980)

3.3 Análises químicas laboratoriais

De maneira a se obter dados quantitativos, e não apenas qualitativos, este trabalho utilizou-se de dois métodos de análises químicas: microssonda eletrônica e fluorescência de raios X (FRX).

Ambos são resultados do mesmo fenômeno físico-químico de emissão de raios X característicos, seja pelo bombardeamento de elétrons de alta energia cinética (microssonda) (Gomes, 2015), seja pelo direcionamento de feixes de raios X/radiação gama (FRX) (Asfora, 2010). Em ambos casos, há o fornecimento de energia a elétrons das camadas K, L ou M (considerando o modelo atômico de Rutherford-Bohr) (Figura 6 A e B), que emitirão um sinal característico (para cada camada, de cada elemento) na frequência e comprimento de onda de raios X, sendo conhecidas há décadas as emissões esperadas à cada elemento constituinte de minerais formadores de rocha. Sendo possível realizar análises qualitativas em qualquer material, desde que preparada uma amostra.

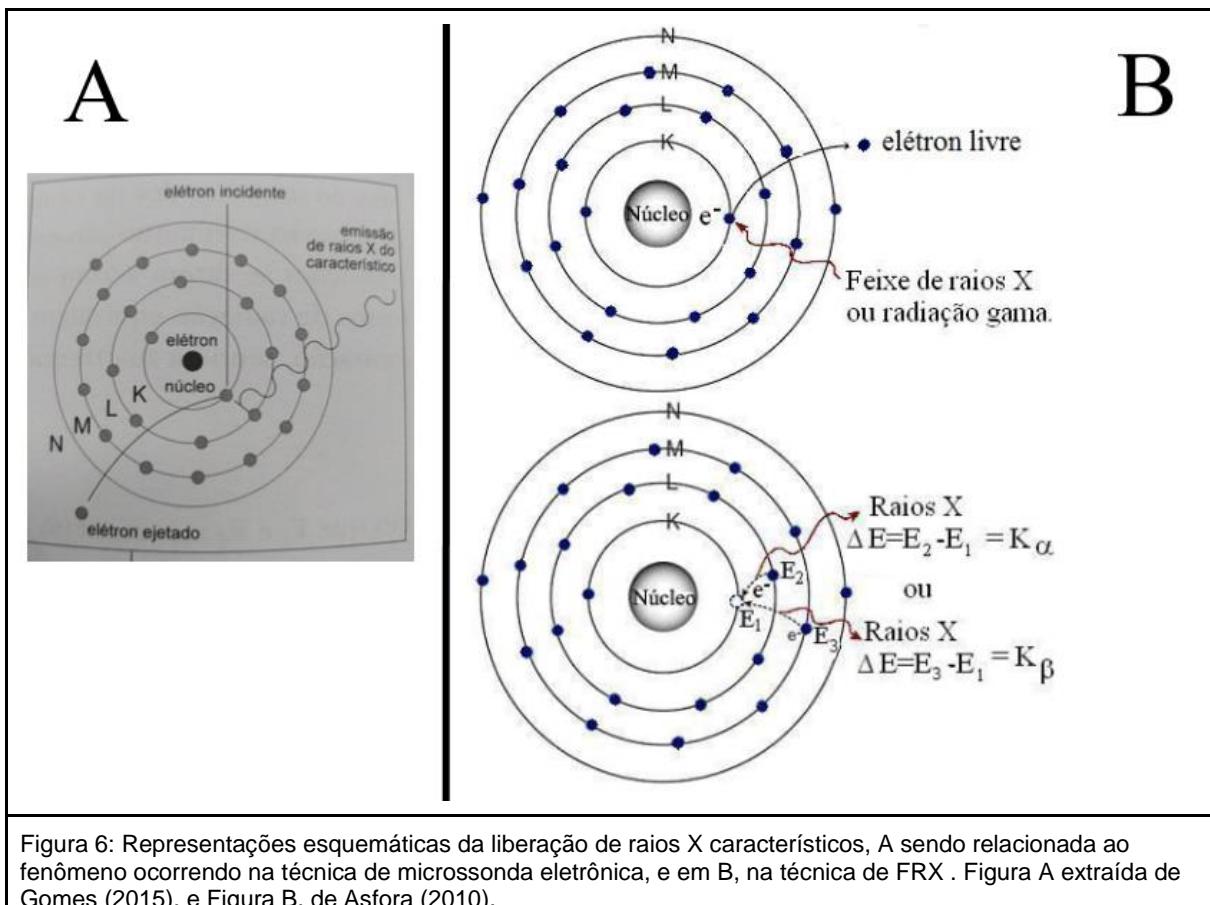


Figura 6: Representações esquemáticas da liberação de raios X característicos, A sendo relacionada ao fenômeno ocorrendo na técnica de microssonda eletrônica, e em B, na técnica de FRX . Figura A extraída de Gomes (2015), e Figura B, de Asfora (2010).

Análises quantitativas, em ambos os casos, provêm da comparação, das emissões obtidas na amostra analisada, com padrões de composição química conhecida, utilizando-se geralmente nas geociências, padrões naturais.

Uma grande diferença entre os métodos, se encontra na escala ao qual cada um obtém dados: o método de FRX é usualmente utilizado (assim como neste trabalho) para a análise de uma amostra representativa, de forma a caracterizar a rocha como um todo. Enquanto que o método de microssonda eletrônica analisa pontos definidos em minerais (ou em malha ao longo de uma lâmina polida), apresentando resultados pertinentes apenas à área (100 μ m-5nm (Gomes, 2015)) e minerais analisados.

3.4 Pseudosseções

Assim como na ciência dos materiais e metalurgia há os diagramas de Pourbaix (Figura 7), que indicam as várias fases estáveis de um metal, a dadas diferença de potencial (Eh) e pH, na petrologia metamórfica são utilizadas grades petrogenéticas (Figura 8) para indicar as fases minerais mais estáveis de determinadas composições químicas em determinadas janelas de pressão e temperatura, além de representar as reações metamórficas que ocorrem entre uma região multivariante e outra.

Historicamente estas grades petrogenéticas foram construídas a base de observações de campo e experimentos laboratoriais de metamorfismo. Contudo, atualmente existem alternativas computacionais para alcançar-se este conhecimento (Powell, Holland e Worley, 1998; Powell, Guiraud e White, 2005), baseando-se na resolução de equações não lineares, utilizando-se da otimização e redução da energia livre de gibbs no sistema, de forma a se definir a paragênese mineral de maior estabilidade possível, para cada conjunto de condições PxT.

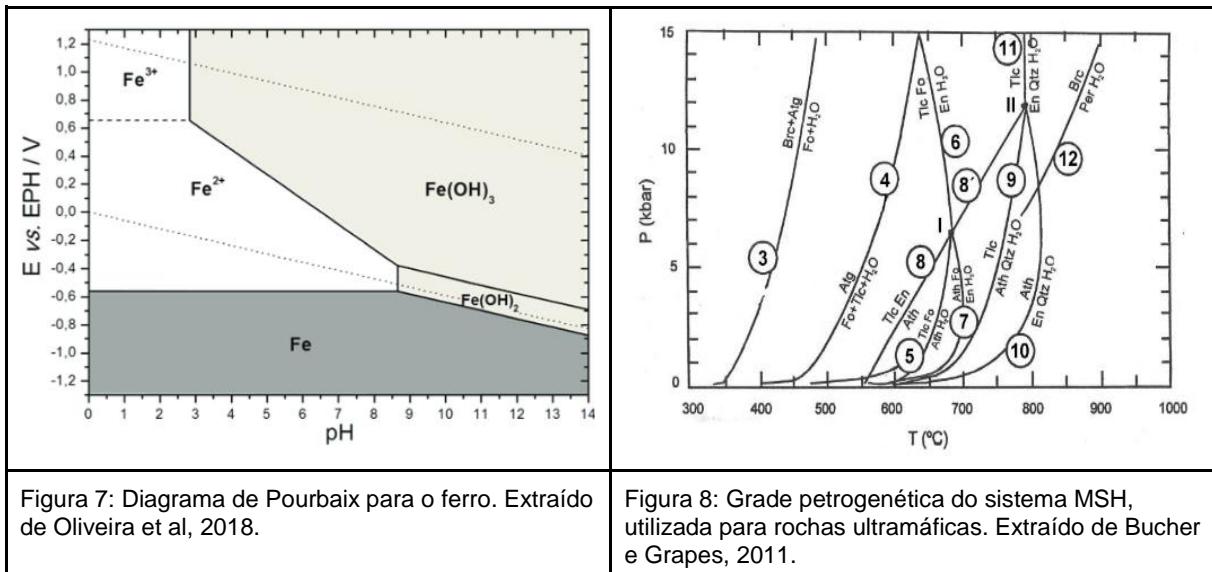


Figura 7: Diagrama de Pourbaix para o ferro. Extraído de Oliveira et al, 2018.

Figura 8: Grade petrogenética do sistema MSH, utilizada para rochas ultramáficas. Extraído de Bücher e Grapes, 2011.

Utilizando-se de bancos de dados termodinâmicos atualizados, como o produzido por Holland e Powel (2011), é possível, através de programas como o THERMOCALC e PERPLEX, construir uma grade indicativa de cara paragênese, específica para uma dada composição química, como por exemplo, a de uma rocha que se deseja estudar, assim criando uma pseudosseção. Nessa serão representadas todas as paragêneses para as quais esta composição de rocha pode gerar, em cada intervalo de condições PxTxXCO₂.

4. MÉTODOS

4.1 Microscopia ótica

Utilizando-se como base os conhecimentos adquiridos, tanto pela leitura de livros texto sobre petrologia metamórfica (Yardley, 1989; Bücher e Grapes, 2011; Best, 2003; Vernon e Clarke, 2008), quanto pelos conhecimentos adquiridos ao longo da disciplina de Petrologia Metamórfica, que foram aprofundados ao longo de duas bolsas PEEG, realizadas como monitor em Petrologia Metamórfica e em Mineralogia, foi realizada uma atividade de campo específica para a Mineração Corrêa, localizada no município de Campos do Jordão (SP), para a análise em campo das rochas existentes, e para a coleta de amostras.

As amostras foram encaminhadas para sua lamination, e o conjunto de 20 lâminas produzidas foram analisadas na sala de microscopia petrográfica do IGC-USP. Tendo seus minerais identificados com base em suas propriedades óticas (Tröger, 1979), considerando-se que pelo sistema químico existente (Yardley, 1989; Bücher e Grapes, 2011), haveriam restrições nas possíveis associações minerais existentes em rochas carbonáticas e calcissilicáticas (uma vez que todos os minerais tenderiam a ser formados a base de MgO, SiO₂, CaO, CO₂, H₂O, com a possibilidade de Al₂O₃, Na₂O, K₂O, dependendo-se do teor de argila e argilominerais depositados junto ao protólito carbonático).

Posteriormente, as fotomicrografias foram obtidas no laboratório de Petrografia Ótica, utilizando-se o microscópio Zeiss AXIO VISION.

4.2 Microssonda eletrônica

Para a realização deste trabalho, utilizou-se a microssonda eletrônica modelo JXA-8530 da JEOL, presente no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, com as

seguintes configurações de funcionamento: 20 nA, 15kV e área circular de 5 μ m. Sendo analisadas um total de 4 lâminas, produzidas com as mesmas amostras das lâminas petrográficas: GB-01-A1, GB-01-JC, GB-01-K2 e GB-02-B, de maneira a se observar: Uma amostra do mármore dolomítico presente nas cavas velha (A) e nova (B), além dos efeitos causados pelas intrusões magmáticas e metamorfismo de contato associado (JC e K). Utilizando-se os padrões apresentados no Anexo A.

O tratamento dos dados foi realizado posteriormente o programa: AX62, de autoria de Tim Holland, o qual calcula a fórmula unitária de minerais, com base nos resultados obtidos da análise química (em % de peso em óxidos), resultando tanto na classificação de cátions em a.f.p.u., quanto fornecendo a classificação do mineral com base na atividade dos membros finais das séries de solução sólida pertinentes.

Para a classificação dos minerais analisados, e seu posicionamento em diagramas compostacionais, foram utilizados: o programa MinPlot de Jesse B. Walters, para a plataforma MATLAB, com os quais foram criados os diagramas compostacionais de olivinas e piroxênios; a tabela Excel criada por Locock (2014) para a classificação de anfibólios; e a tabela triquik disponibilizada por Dave Waters, para construção do diagrama ternário de carbonatos.

4.3 Fluorescência de raios X (FRX)

Utilizando-se o equipamento AXIOS MAX Advanced da empresa PANalytical, presente no Laboratório de Fluorescência de Raios X – NAP GeoAnalítica-USP, foram analisadas amostra da rocha GB-01-A1 e GB-02-B (ambos olivina mármores dolomíticos com diopsídio e tremolita), de maneira a se obter dados da composição química de rocha total e de elementos traço destes dois afloramentos, sendo preparados dois conjuntos de pastilhas: pastilhas de vidro fundido, os quais são analisadas para obter-se dados de elementos maiores, preparadas com máquinas de fusão Clisse TheOX; e pastilhas de pó prensado, empregadas para a análise de elementos traço, preparadas com micronizadores McCrone e prensadas com uma prensa hidráulica Herzog.

Todos os aparelhos utilizados são propriedade do Instituto de Geociências da USP, e todos os processos foram realizados seguindo-se as normas de utilização dos laboratórios empregados.

4.4 Modelagem de pseudosseções

As pseudosseções deste trabalho foram construídas no software PERPLEX (Connorly, 2005), utilizando-se o banco de dados criado por Holland e Powell (2011), aplicados para a composição química das rochas analisadas por FRX, cujas composições se encontram na Tabela 1. Devido ao metamorfismo de mármores e rochas calcissilicáticas ser muito dependente da composição de fluidos presentes (Yardley (1989) e Bücher e Grapes (2011)), foram preparadas 6 pseudosseções: à cinco, sete e dez quilo-bares de pressão, entre 300 e 900°C, para ambas composições de rocha.

Os modelos de soluções sólidas adotados pelo programa PERPLEX podem ser encontrados na aba sobre a documentação do programa, em seu site específico, o qual pode ser encontrado na seção 9 deste trabalho: Programas e tabelas utilizados.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1 Atividade de campo e microscopia ótica

Ao longo da atividade de campo, analisou-se duas diferentes cavas de mármore da mineração Corrêa: a “cava velha” (Figura 9) que esteve em operação desde 1958, mas que atualmente se encontra inativa; e a “cava nova” (Figura 18) que foi aberta em 2022, após reestruturações na empresa e a obtenção de novas permissões de lavra.

A maioria das amostras coletadas neste trabalho provêm da “cava velha”, uma vez que esta foi a que apresentou maior variabilidade, complexidade de rochas, e onde as relações de contato podem ser observadas. Na cava nova, apenas cortes limpos no mármore estão expostos, ou grandes blocos cortados para avaliação comercial. Uma vez que a observação em campo da cava nova revelou, que sua porção em exploração, se trata de um mármore branco-azulado extremamente homogêneo e contínuo, que apesar de ser possível observar possíveis estruturas sedimentares deformadas (Figura 18), não se pode observá-las na análise em escala de amostra de mão e em lâmina. Além disso, as paredes lisas dificultam a amostragem. Semelhantemente, foi encontrado um problema de amostragem à cava velha, na qual, em sua maioria (com exceção às amostras das intrusões igneas, e dos skarns de contato do mármore com as intrusões), foram recolhidos blocos e fragmentos soltos, ao invés de se retirar propriamente amostras das paredes da cava.

A análise das lâminas de rocha preparadas revelou, assim como Alves et al (1976) havia observado, a presença de olivina (forsterita), clinopiroxênio (diopsídio) coexistindo na mesma rocha, além de carbonatos (calcita e dolomita), formando o grupo de principais minerais presentes. Serpentinas (lizardita/antigorita/crisotilo) e anfibólio (tremolita) foram observados como produto de alteração/retrometamorfismo de olivina e diopsídio. Sendo observadas quantidades ínfimas de flogopita (biotita magnesiana) e outras espécies minerais, como titanita e clorita.

5.1.1 Cava velha (GB01)



Figura 9: vista frontal da cava velha, o desnível de topo a base é de aprox 40m, com uma largura de aprox 80m, cobrindo atualmente uma área de aprox. 7500m².

Utilizando-se da denominação de GB01-, recolheu-se um total de 11 tipos de amostras diferentes em campo (de GB01-A a GB01-K), sendo que 3 destas (GB01-C, H e I), se referem à rochas magmáticas intrusivas observadas cortando tabularmente o corpo de mármore (Figuras 21 A e B, e Figura 22) . Enquanto que as demais são amostras de mármore dolomítico, com maiores, ou menores quantidades de minerais silicáticos.

Das rochas observadas em lâmina, é possível realizar uma classificação:

- Olivina mármore dolomítico com tremolita e diopsídio (lâminas GB01-A1, A2, B2, D, F) (Figura 10): maciços, de textura granoblástica grossa a muito grossa, inequigranulares bimodais, de distinção clara de granulação entre minerais carbonáticos e silicáticos. A granulação grossa é dominada por minerais carbonáticos que chegam a mais de 6mm de comprimento em algumas lâminas, mas geralmente se mantém entre 2-5mm. Os cristais de olivina apresentam padrão seriado, atingindo um máximo de até 3,2mm de comprimento, mas em geral estando entre 0,15 e 1,2mm, de hábito eublástico a sub-eublástico, geralmente pouco alteradas para serpentina, sendo observada a alteração nas bordas dos cristais e em suas fraturas, representando de 6-10% das lâminas. Os inossilicatos, clinopiroxênio e anfibólio, juntos representam aproximadamente 0,5-2% das lâminas e são reconhecíveis pelo padrão estriado de seus cristais, devido à suas duas direções de clivagem, seu tamanho varia entre 0,2 e 0,4mm.

- Mármore dolomítico puro (lâminas GB01-B1 e GB01-G) (Figura 11): Maciços de textura granoblástica grossa a muito grossa, constituído de minerais carbonáticos, com menos de 1% de tremolita e forsterita. São observados cristais de carbonatos de até 7,2mm

de comprimento; cristais de tremolita alcançam até 0,4mm, possuindo um padrão fibroso distinto; e de olivina, 0,2mm.

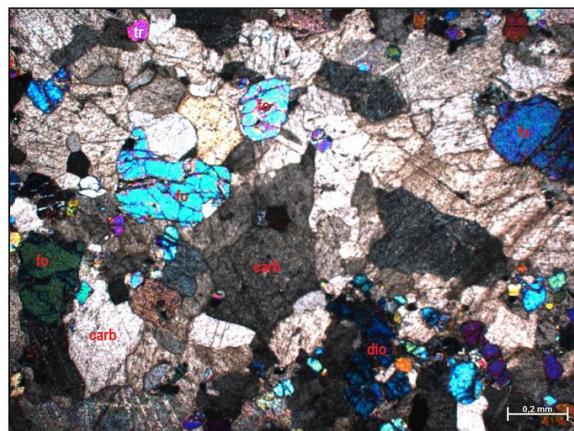


Figura 10: representação do olivina mármore com tremolita e diopsídio, lâmina GB01-A1, sob polarizadores cruzados. Legenda: fo= forsterita; dio=diopsídio; tr=tremolita; carb=carbonatos (calcita+dolomita)

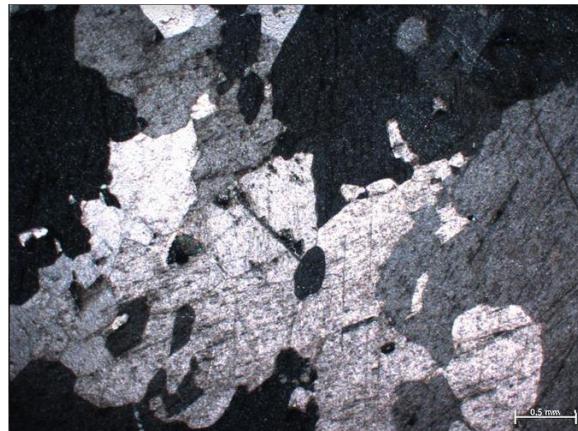


Figura 11: representação do mármore dolomítico puro, lâmina GB01-B1, sob polarizadores cruzados.

- Alcali quartzo sienito (GB01-C) (Figura 12 e 21): Rocha levemente foliada, apresentando um início de bandamento composicional, composta primariamente de feldspato alcalino (73-75%) da variedade microclínio (identificado por possuir a geminação em grade típica de microclínio), com quantidades menores de: quartzo (13-15%); plagioclásio (2-4%), o qual foi observado possuindo textura de anti-pertita; biotita (4-5%), apresentando cor marrom e pleocroísmo à verde escuro, definindo a leve foliação observada, por meio de uma orientação preferencial dos cristais em lâmina, apesar de não ser observada em escala de amostra de mão; titanita (1-2%), euédrica, a qual aparenta estar orientada juntamente à biotita; apatita (>0,5%), formando cristais prismáticos, de base hexagonal de dimensões >0,01mm dispersos ao longo de toda a lâmina; carbonatos (>0,5%), com textura de aparente consumo por reações químicas.



Figura 12: Fotomicrografia da textura granular do alcali quartzo sienito da lâmina GB01-C, sob polarizadores

cruzados.

- Monzogranito grosso (GB01-H) (Figuras 13A e B e 21A e B): rocha cinza com princípio de formação de bandas gnáissicas, de separação incipiente de aglomerados orientados de biotita (6-10% da lâmina, cristais de até 1,3mm) em meio a uma massa de quartzo (20%) /feldspato alcalino (30%) /plagioclásio (50%), com presença de fenocristais de plagioclásio e de quartzo.

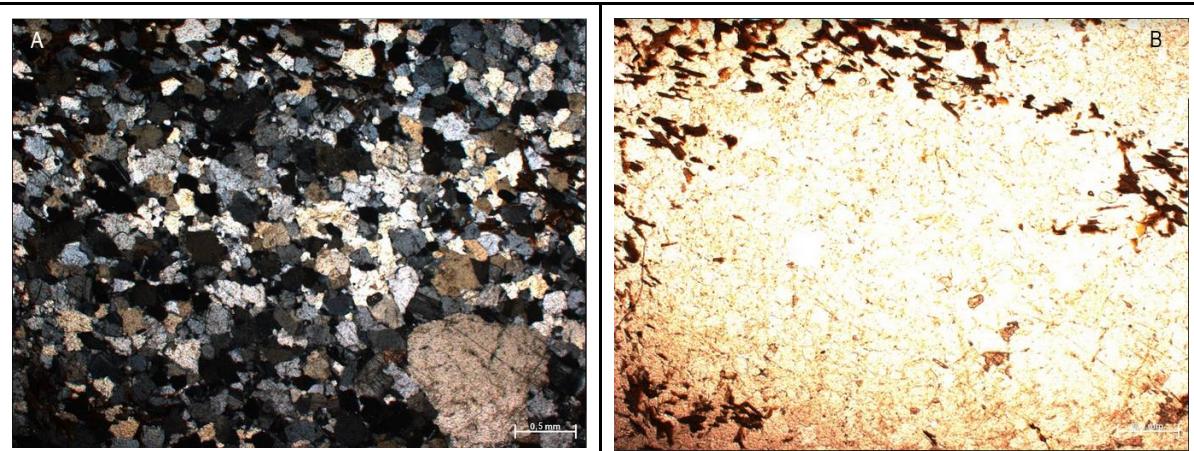


Figura 13A e B: monzogranito grosso observado, sob polarizadores cruzados (A), e em (B), sob polarizadores paralelos.

- Sienogranito médio-fino (GB01-I) (Figura 14A e B, 22A e B): rocha rosada que também apresenta aparente princípio de formação de bandamento composicional, mas mais incipiente do que o observado na GB01-H, contudo também apresenta biotita orientada. Diferentemente de todas as demais lâminas, foram observados minerais opacos, que correspondem a aproximadamente 3%; possui biotita (13%) de cor verde escuro com pleocroísmo à amarelo claro; feldspato alcalino (50%) da variedade microclínio (observado devido à geminação em grade); quartzo (21%); plagioclásio (13%), apresentando textura de anti-pertita.

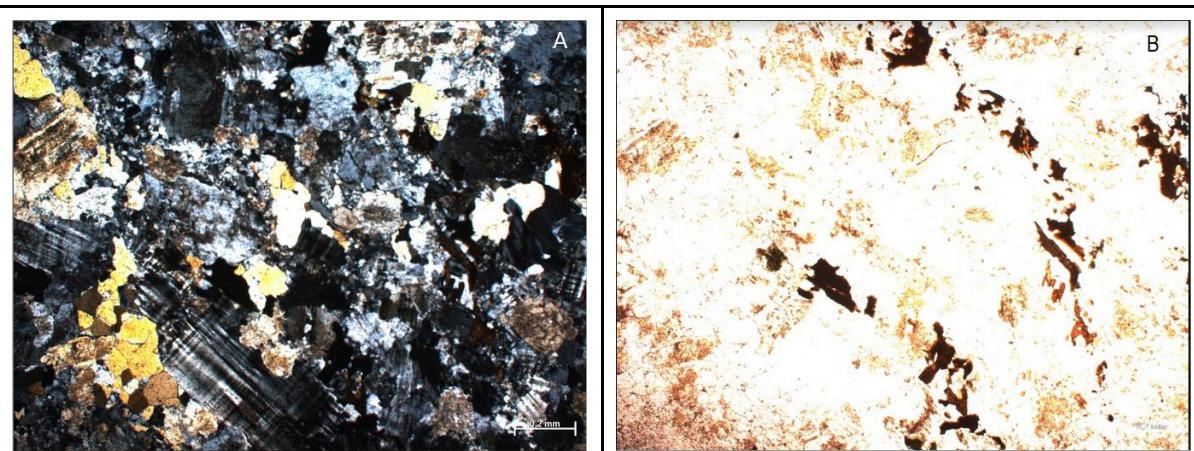


Figura 14A e B: Sienogranito fino à médio observado, sob polarizadores cruzados em A, sob polarizadores paralelos em B.

- As duas séries de lâminas denominadas GB01-JA a JD (Figura 15), e GB01-K1A a K1C e a lâmina GB01-K2 representam o contato do mármore/olivina mármore com respectivamente o monzogranito (na lâminas GB01-JA e B) e o sienogranito (nas lâminas GB01-JC e D e da série K1 e K2), podendo ser considerados skarns (JA, JD, K1 e K2) e olivina mármore dolomítico com tremolita e diopsídio (JB e JC), uma vez que o contato com as intrusões magmáticas provavelmente teria causado metassomatismo e metamorfismo de contato.

Em todas as lâminas de skarns foram observados minerais, aparentemente formados por intemperismo, que na análise microscópica foram identificados como pertencente ao grupo do epídoto, por possuírem altos índices de birrefringência, alto relevo (em comparação aos minerais carbonáticos), coloração variante entre amarelo a marrom, mas que posteriormente, durante a realização da microssonda eletrônica, se revelou ser uma combinação de ao menos 3 minerais, os quais não foram possíveis de identificar.



Na lâmina GB01-JA, a mais próxima do contato com o monzogranito, há bandamento mineral na lâmina, havendo bandas claramente definidas com base à proximidade com o contato: o mais próximo possível do contato, há uma faixa composta primariamente por diopsídio e tremolita de hábito granular, apresentando quantidades muito maiores de diopsídio e tremolita do que observado nas demais lâminas de mármore, havendo uma baixa taxa de alteração destes silicatos à serpentina (mantendo-se somente às bordas dos minerais, ou à fraturas internas), com carbonatos ausentes, e sendo

encontrado flogopita e clorita como fases menores (ambas somadas equivalem à >0,5% desta porção); avançando para uma porção mais distante do contato, é observada uma faixa de ainda grande quantidade de silicatos (se comparada às lâminas de mármore), mas minerais carbonáticos se fazem presentes, espaçando os cristais de inossilicatos, de ainda pouca alteração à serpentina; após a faixa anterior, encontra-se uma porção de menor quantidade de silicatos, maior de carbonatos e intensa com presença de pseudomorfos de olivina, alterados inteiramente à serpentina (Figura 16), ressaltando que não havia sido observada olivina nas porções descritas anteriormente; a porção final da lâmina se assemelha às lâminas de olivina mármore, com quantidades muito menores de tremolita e diopsídio, em comparação à forsterita, mas se encontra altamente intemperizada.

A grande aglomeração de minerais silicáticos observada nas 3 lâminas mais próximas dos contatos, com as intusões magmáticas, pode indicar o efeito de metassomatismo: inserção de silício em um sistema químico inicialmente caracterizável como 1a (Figura 23) segundo Bücher e Grapes (2011), levando-o à 1b, 1c ou até mesmo à 2a.

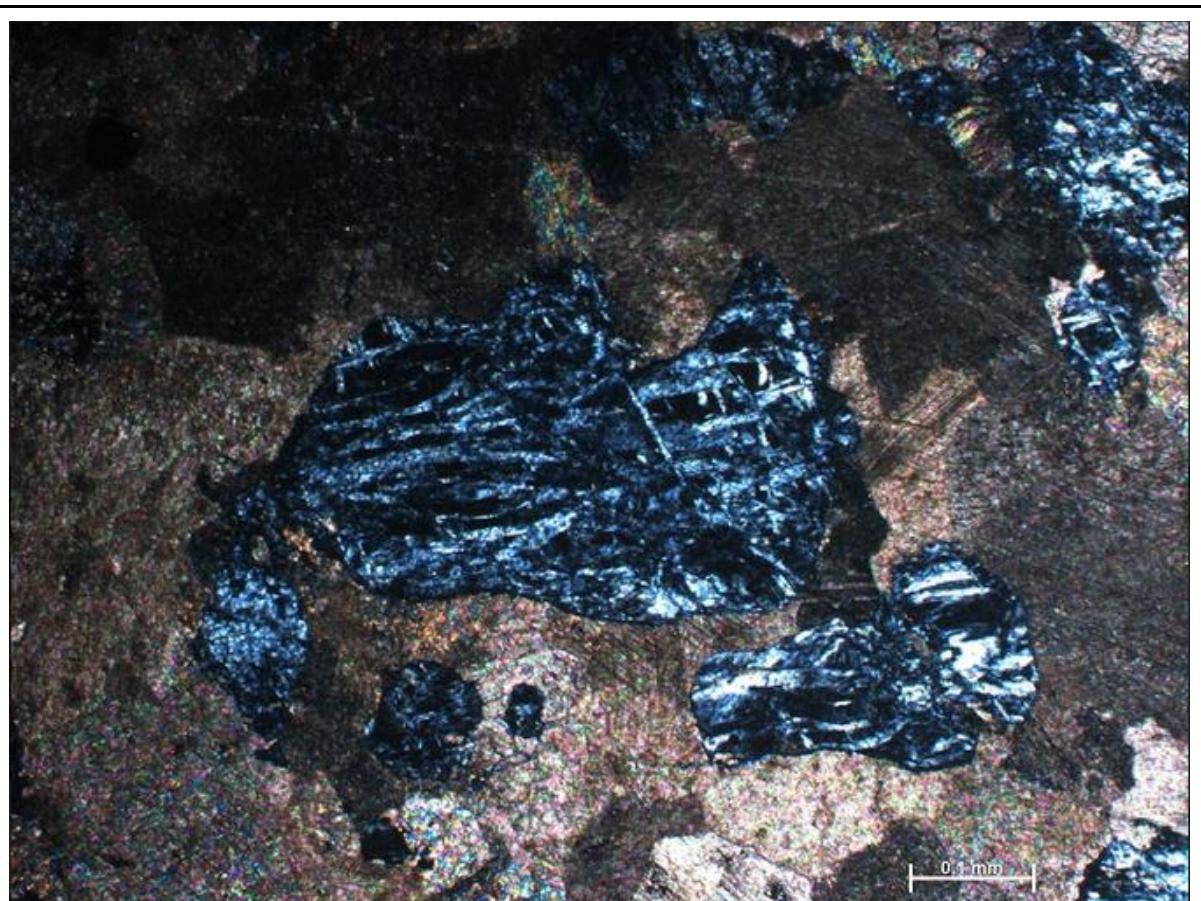


Figura 16: Representação de forsterita inteiramente alterada à serpentinas. Micrografia da lâmina GB01-JD, sob polarizadores cruzados.

As lâminas GB01-JB e JC são relativamente semelhantes à porção final da lâmina GB01-JA: possuem teores de forsterita semelhantes aos de olivina mármore, mas intensamente alteradas à serpentina, contudo, não se observou uma continuação de padrões de estratificação causadas pelas intrusões magmáticas. Um adendo é que na lâmina JB, se observou uma fratura na rocha atravessando toda a região laminada, sendo

que a fratura é preenchida por quartzo, na qual se observou em sua proximidade, uma quantidade ínfima (>0,2%) de flogopita.

A lâmina GB01-JD, que é a mais próxima ao contato com o sienogranito, apresenta um leve bandamento, mais difuso do que o observado na GB01-JA, contudo se encontra extremamente alterada em direção ao contato com o sienogranito, com menores taxas de alteração no lado mais afastado do contato (Figura 17). Contudo, assim como a lâmina GB01-JA, há uma quantidade maior de inossilicatos do que nas lâminas de mármore afastados da porção de intrusão magmática. Nesta lâmina, assim como nas demais lâminas de skarn (JA, K1A e K2), foi observada uma ausência de olivina nas porções mais próximas do contato magmático, com a existência de olivina serpentinizada à maiores distâncias do contato.

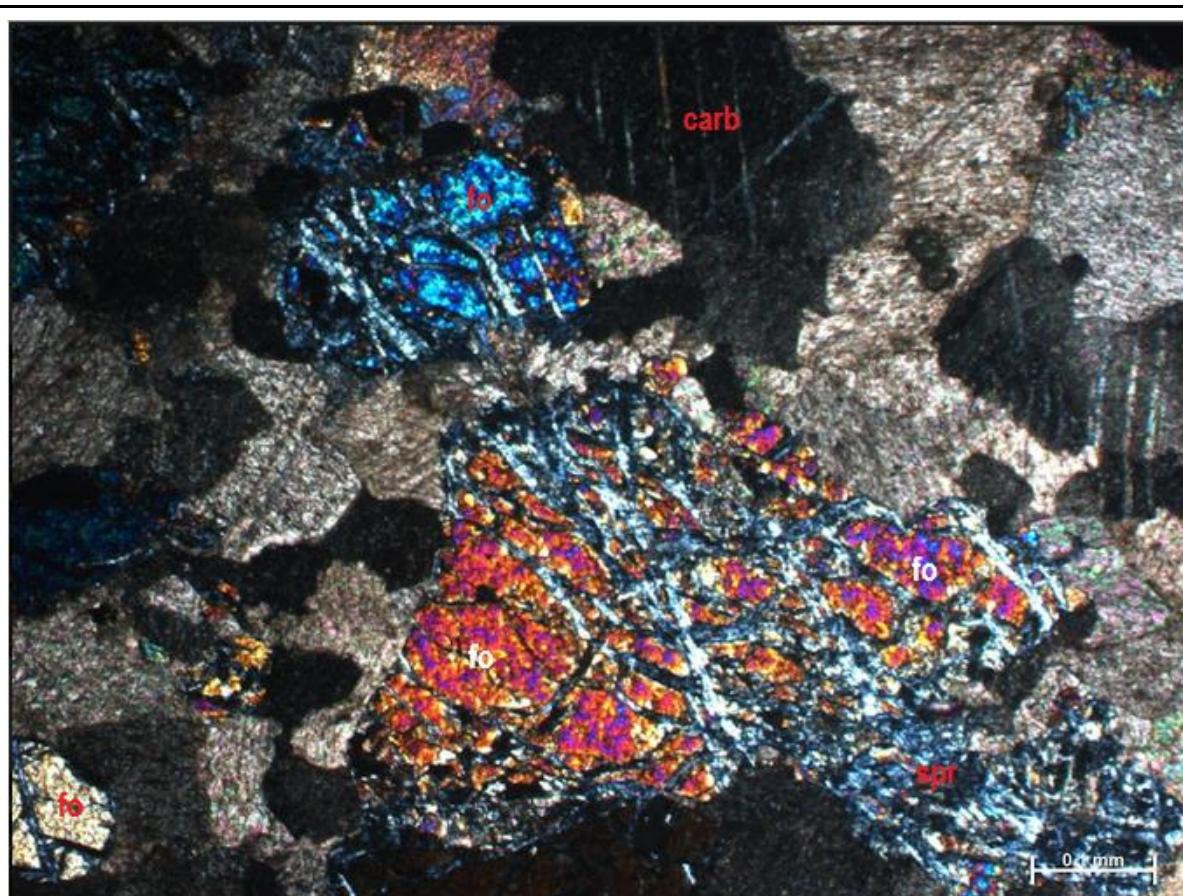


Figura 17: Cristais de forsterita parcialmente alteradas à serpentinas. Micrografia da lâmina GB01-JD sob polarizadores cruzados. Legenda: fo=forsterita; spr=serpentina; carb=carbonato

Uma situação semelhante à da série de lâminas GB01-J se observa nas lâminas GB01-K1: maior presença de tremolita e diopsídio conforme maior a proximidade com a zona de contato do mármore com o sienogranito, seguida de uma região de grande alteração de silicatos à serpentina, seguida de uma porção de grande semelhança ao olivina mármore, com o adendo se ser mais alterado do que o olivina mármore.

A lâmina GB01-K2, que foi preparada de outra porção da amostra K, se mostra claramente dividida em duas porções distintas: uma porção se assemelha ao olivina mármore, com os cristais de olivina alcançando 1,2mm de comprimento, e a outra porção se assemelha à um aglomerado cumulático de tremolita+diopsídio (de tamanhos variando entre 0,2 e 0,6mm) de cristais eublásticos a sub-eublásticos em meio à uma matriz carbonática,

de tal forma que a soma dos silicatos presentes nesta lâmina se aproxima de 40-60%. Potencialmente esta lâmina representa uma região de alteração e interação composicional semelhante ao observado na lâmina GB01-JA, mas que foi cortada de modo diagonal ao contato com o sienogranito, em vez de perpendicular a este.

5.1.2 Cava nova (GB02)



Figura 18: Foto da bancada superior (de 3 bancadas em atividade) da cava nova. Humano de escala possui 1,73m de altura.

Na cava nova a rocha presente (Figura 18) tem bandamento composicional regular, possivelmente sendo uma estrutura reliquiar sedimentar (Figura 18), mas tanto em amostra de mão, quanto em lâmina, não foi possível observar nenhuma estruturação preferencial. Em campo, a rocha observada foi caracterizada como um mármore branco azulado, o qual foi lâminado e produziu a lâmina GB02-B (Figura 19), que se mostrou ser um diopsídio olivina mármore com tremolita, apresentando teores maiores de inossilicatos que as amostras de olivina mármore da cava velha, contudo, ainda possuindo maiores quantidade de forsterita. Nesta rocha, foi observado que alguns cristais de diopsídio, os quais apresentam geminação de repetição múltipla, característica que não foi observada nos cristais das lâminas da cava velha.

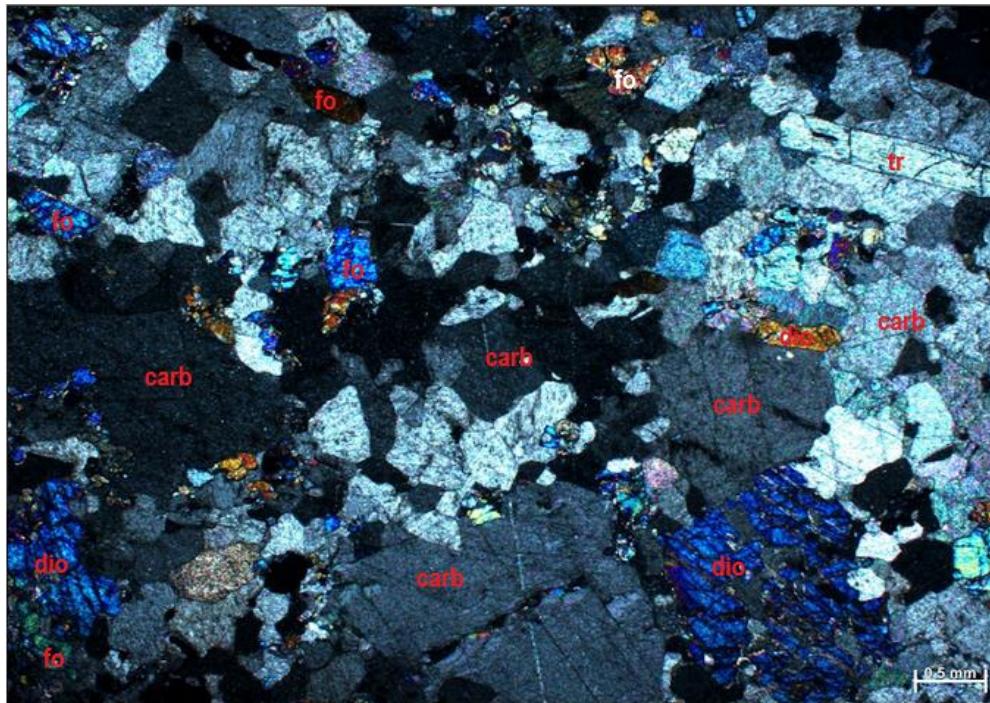


Figura 19: Micrografia da lâmina GB02-B, sob polarizadores cruzados. Legenda: fo=forsterita; dio=diopsídio; tr=tremolita; carb=carbonatos

5.2 Microssonda eletrônica

Os dados obtidos pela microssonda eletrônica estão presentes no Anexo B, juntamente com os dados calculados para as atividades minerais (Software AX62).

Ao longo das análises da microssonda, foi possível identificar algumas características mineralógicas das rochas analisadas, os quais não foram possíveis de se observar durante a microscopia ótica: não foram observadas olivinas (que não estivessem inteiramente serpentinizadas) na lâmina GB-01-K2, tudo o que havia sido considerado olivina não serpentinizada nesta lâmina, se mostrou ser piroxênio;

Na lâmina K2, assim como nas lâminas GB-01-JA e JD (todos sendo diopsídio escarnitos verdes), haviam sido observados minerais que, durante a microscopia, foram considerados epidotos (Figura 20), em meio a uma matriz de serpentina, formando pseudomorfos de olivina, mas que se mostraram ser uma combinação indistinguível (considerando-se dados de microssonda eletrônica e de microscopia ótica) de ao menos três espécies minerais, compostas de SiO_2 , CaO , MgO e FeO , presentes na aba “outros” do Anexo B;

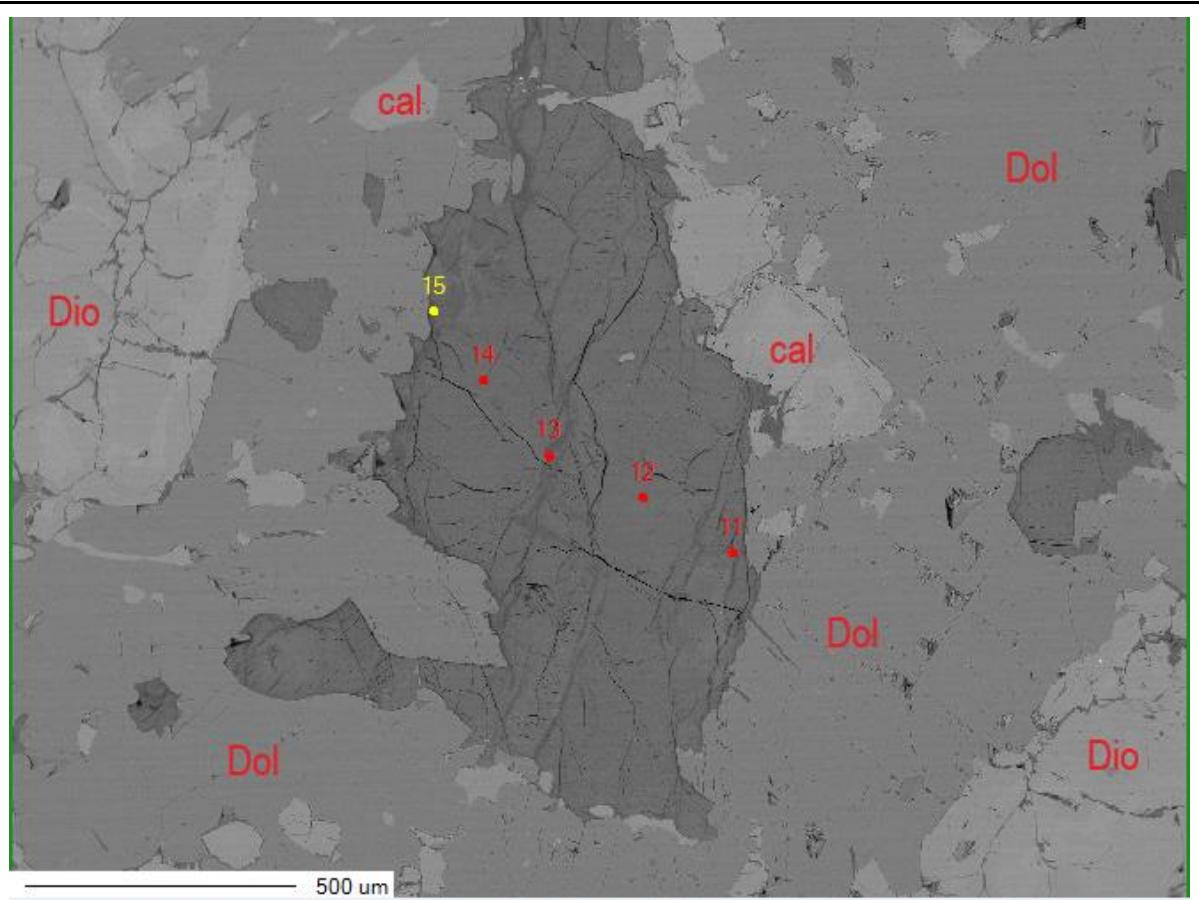


Figura 20: Imagem MEV do que acreditava-se ser um conjunto de epíodo + serpentina (centro da imagem, com as numerações de 11 a 15), do que está marcado no Anexo B como epi02-01 a 05. Legenda: Dio=diopsídio, Dol=dolomita, cal=calcita

Especificamente na olivina marcada como 2, pontos 1 e 5 (mais próximas das bordas da olivina), na lâmina JC, foram medidas olivinas que possuem composições químicas que apenas diferem das mais próximas de seu núcleo por um teor 4% menor de SiO₂, o qual foi melhor analisado após a medição, e constatou-se que ocorrem pequenas estruturas de exsolução, não sendo devido à algum elemento “comum” que se esperaria encontrar em olivinas.

5.3 FRX

Os dados da análise de rocha total por FRX estão presentes na Tabela 1, com todos os dados sendo apresentados em %de peso. Foram escolhidas estas duas amostras de olivina mármore dolomítico com diopsídio e tremolita, uma vez que ambas representariam a paragênese de pico metamórfico, em cada uma das duas cavas amostradas.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn O	Mg O	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LoI	Total
GB-01-A1	5.13	0.005	0,01	0.02	< 0,001	20.89	34.13	< 0,008	< 0,004	0.008	38.56	98.74
GB-02-B	5.05	< 0,005	0,01	0.01	0.001	21.5	32.64	< 0,008	< 0,004	0.008	39.79	99.00

Tabela 1: Resultados da análise por FRX para as amostras das cavas velha e nova

Em relação à elementos traço, o mais abundante observado foi o estrôncio, com 95 ppm para a amostra GB-01-A1 e 85 ppm para a amostra GB-02-B, com 14 de 20 elementos analisados estando abaixo do limite de detecção.

6. INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1 Análise dos afloramentos e microscopia

Em campo, observou-se a relação cronológica existente entre parte das intrusões magmáticas (Figura 21A e B): o monzo-granito grosso (lâmina GB01-H) se encontrava cortando o mármore, e sendo cortado pelo sieno-granito médio-fino (lâmina GB01-I). Não sendo possível observar a relação com o alcali quartzo sienito (lâmina GB01-C) (Figura 22), uma vez que este se encontrava a uma maior distância, e por questões geométricas de mergulho dos planos formados por cada intrusão, somente haveria contato entre o alcali quartzo sienito e os demais a alguns metros abaixo do solo. Também foi observado que o monzogranito apresentava bandamento composicional bem definido, potencialmente indicando que este passou por metamorfismo regional.

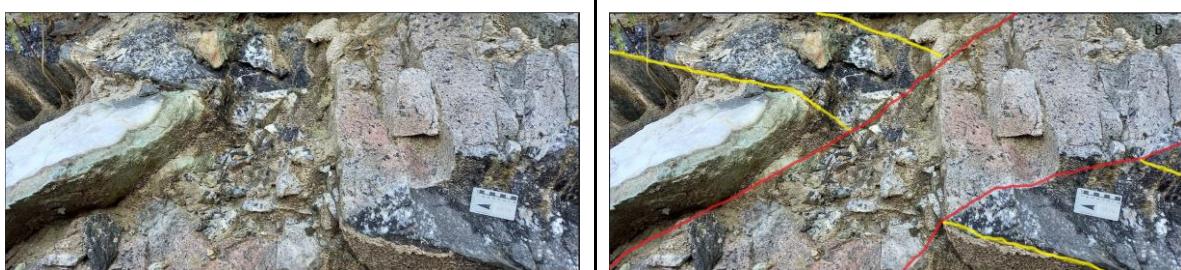


Figura 21: A e B são a mesma foto que representa o contato entre o monzo-granito (bordas em amarelo), e o sieno-granito (bordas em vermelho). A amostra GB01-J (Fig. 12) foi coletada mais a direita desta foto.

Considerando que são constatadas existindo em equilíbrio na mesma lâmina as espécies minerais forsterita e diopsídio, segundo Yardley (1989) e Bücher e Grapes (2011), este já seria indicativo de o pico metamórfico destas rochas ter atingido a fácie anfibolito superior. Uma vez que dependendo-se das características químicas da rocha e dos fluidos existentes durante o metamorfismo, haveria primeiro a formação de uma dessas duas espécies minerais, em condições semelhantes de temperatura e pressão, mas a formação de ambas somente se daria em condições de maior grau metamórfico.



Figura 22: intrusão do alcali quartzo sienito (rocha cinza), na qual está posicionada a escala métrica, em meio ao mármore/olivina mármore.

Uma vez que não foi observado quartzo nestes mármore, seria seguro afirmar que todo o quartzo existente no momento de deposição da rocha teria sido consumido ao longo de seu processo metamórfico, para a produção de minerais cálcio-silicáticos. Dentre os quais, o mineral silicático mais abundante e observado nestas rochas é a forsterita, o que indicaria que a composição química, em termos silicáticos, da rocha total, se aproximaria mais da composição da forsterita, do que do diopsídio, quando plotada em um diagrama ternário do sistema CMS(+HC) (Figura 23). Como a rocha é dominada por carbonatos, a composição geral, deve se aproximar do campo 1a ou na transição com 1b.

Além de poder indicar uma composição química aproximada destas rochas, a grande quantidade de forsterita, em detrimento de outros minerais silicáticos (i.e., tremolita e diopsídio), poderia indicar também a natureza dos fluidos presentes durante o metamorfismo (Figura 24). Uma vez que sua formação estaria ligada à condições metamórficas próximas à fácies granulito, para sistemas com fluidos ricos em CO_2 , ou condições de fácies anfibolito, para fluidos pobres em CO_2 (i.e., fluidos ricos em H_2O). Assim, a presença de forsterita poderia ser explicada de duas maneiras:

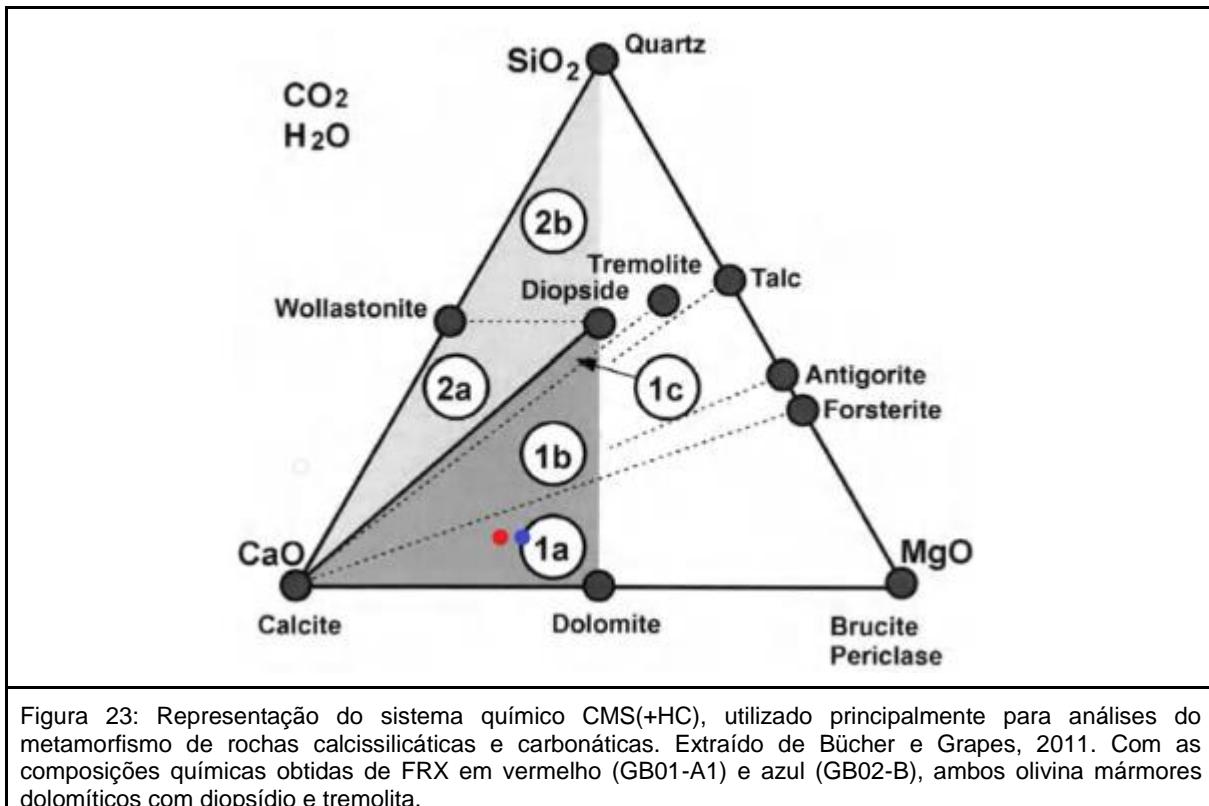


Figura 23: Representação do sistema químico CMS(+HC), utilizado principalmente para análises do metamorfismo de rochas calcissilicáticas e carbonáticas. Extraído de Bücher e Grapes, 2011. Com as composições químicas obtidas de FRX em vermelho (GB01-A1) e azul (GB02-B), ambos olivina mármores dolomíticos com diopsídio e tremolita.

- A forsterita se formaria antes do diopsídio, em condições de fácies anfibolito, caso os fluidos fossem ricos em H₂O, assim sendo, a forsterita seria formada com o consumo de tremolita, e o diopsídio observado seria formado posteriormente, em condições de fácies anfibolito superior. Assim explicando a maior quantidade de forsterita, em comparação com diopsídio e tremolita.
- Com fluidos ricos em CO₂, formaria-se primeiro o diopsídio, em condições de fácies anfibolito, com o consumo de tremolita, com a posterior formação de forsterita em condições de anfibolito superior, e o consumo de diopsídio para a formação de forsterita, em fácies granulito. Assim explicando a maior quantidade de forsterita, em comparação ao diopsídio.

Em ambos os casos, a tremolita poderia se manter meta-estável na rocha, caso se encontrasse envolvida por forsterita/diopsídio, ou poderia ser observada na rocha em decorrência de reações de retrometamorfismo. Contudo, aplicando-se o princípio da parcimônia/navalha de occam (princípio metodológico na qual teorias mais simples tendem à se aproximar mais da verdade, do que teorias mais complexas), a explicação mais simples à formação de uma grande quantidade de forsterita, seria pela presença de fluidos ricos em H₂O durante o metamorfismo, associado ao fato de que a rocha provém de um corpo de mármore inserido em um contexto meta-sedimentar (significando poucas fontes de CO₂ para o fluido fora do mármore), indicariam que a 1a explicação tenderia a estar mais próxima à verdade.

Contudo, estas explicações são levantadas considerando-se apenas o metamorfismo regional. As intrusões magmáticas observadas, e as não observadas em decorrência de serem “apagadas” pela atividade mineradora, podem ter alterado suficientemente as características do metamorfismo para gerarem o “produto final” observado. Fator este que se pretende analisar ao longo da próxima etapa deste trabalho.

Outro fator observado ao longo das lâminas, é a considerável falta de alumínio no sistema, fora das zonas de contato com as intrusões magmáticas, o que indicaria uma

falta/ausência de argila/argilominerais no calcário protólito, que somado à pouca quantidade de quartzo (uma vez que teria sido inteiramente consumido), indicaria um ambiente deposicional de pouco aporte terrígeno.

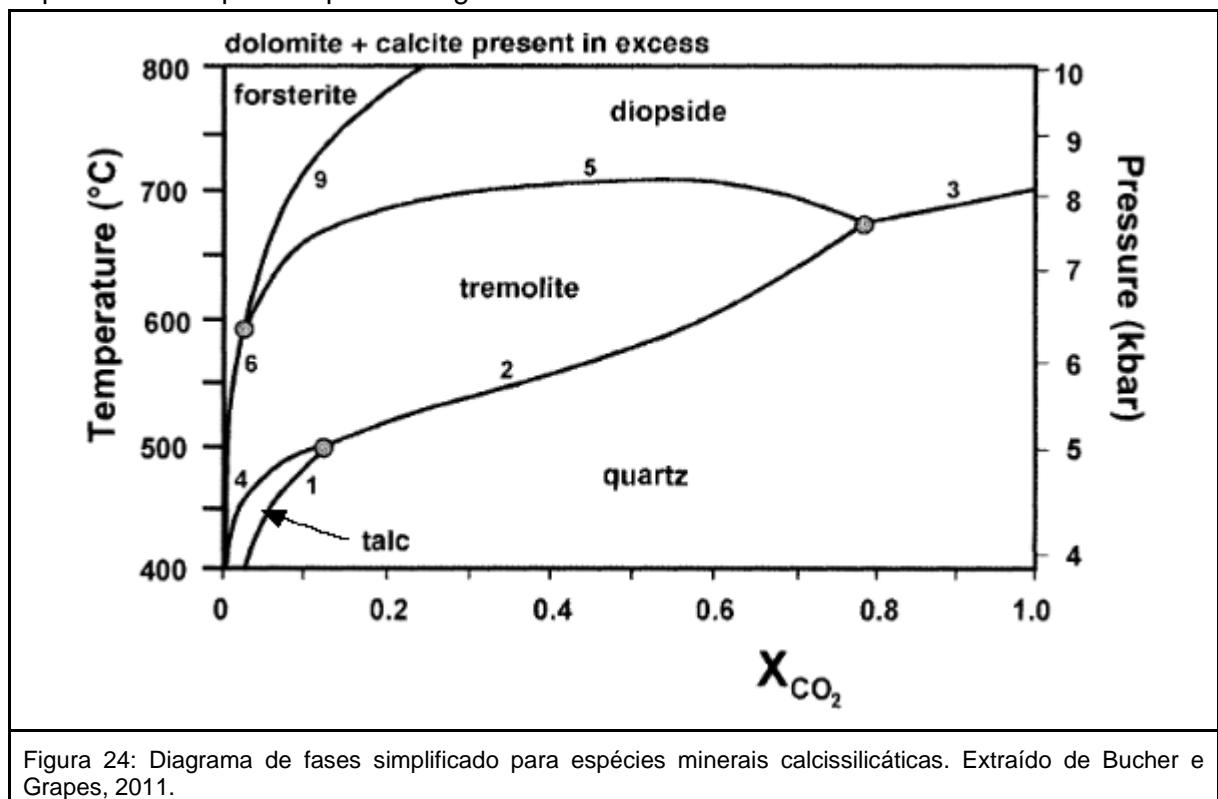


Figura 24: Diagrama de fases simplificado para espécies minerais calcissilicáticas. Extraído de Bucher e Grapes, 2011.

As diferenças observadas entre a cava velha e a cava nova poderiam ter sido causadas pelo maior distanciamento do corpo da cava nova em relação à zona de cisalhamento existente nas proximidades da área de estudo, ou simplesmente por viés na amostragem.

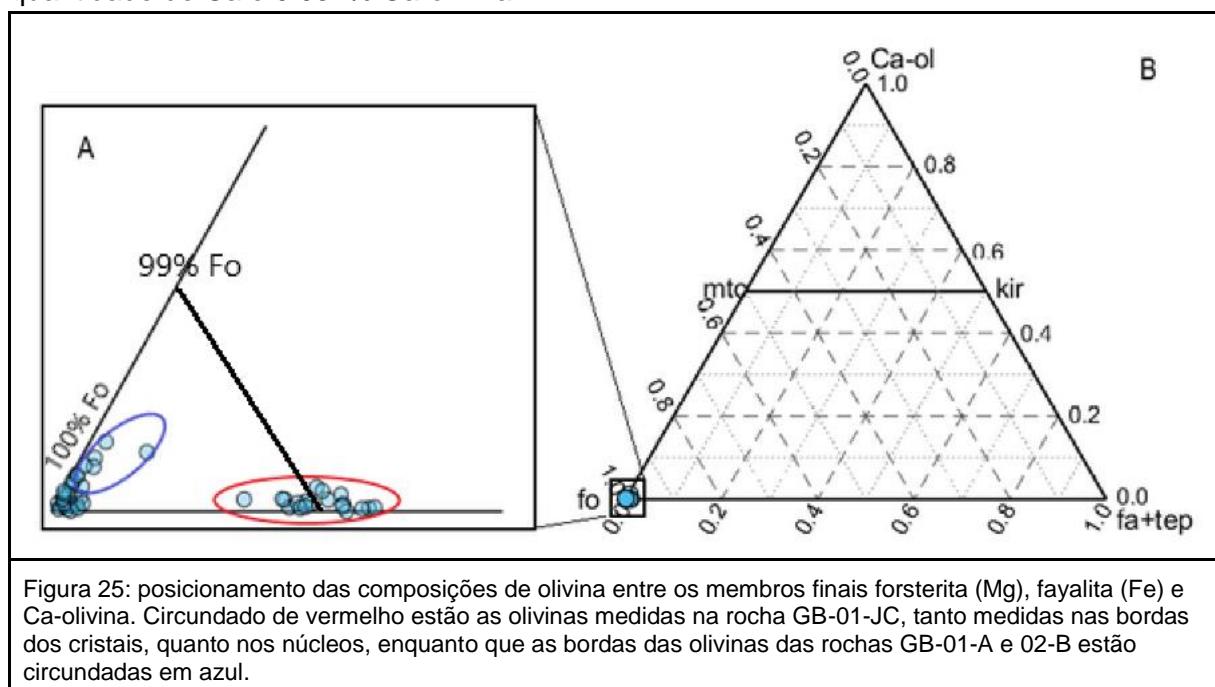
6.2 Química mineral

Assim como foi constatado ao longo da microscopia ótica, a análise das composições químicas das rochas relativas ao olivina mármore dolomítico com diopsídio e tremolita generalizado (lâminas de microssonda GB-01-A1(cava velha) e GB-02-B (cava nova)) revelou quantidades ínfimas de Al e Fe, em geral não ultrapassando 0,001 a.p.f.u em olivina e piroxênio, e não ultrapassando 0,01 a.p.f.u no anfibólio.

Contudo, é possível perceber parte do efeito causado pelas intrusões magmáticas que ocorreram próximas às lâminas GB-01-JC (olivina mármore, localizado próximo ao contato magmático (Figura 15) e GB-01-K2 (skarn verde, localizado diretamente ao lado de um dos contatos magmáticos), uma vez que estas passam a possuir teores significativamente maiores de FeO, alcançando 0.183 a.p.f.u em anfibólios (correspondente à 1,58% FeO wt%), com quantidades significativamente maiores (se comparadas às análises não afetadas por intrusões magmáticas) de Al₂O₃ e MnO. Apesar disto, as quantidades observadas destes elementos ainda são extremamente baixas, não ultrapassando 0.105 a.p.f.u de Al, 0.009 a.p.f.u de Mn, ambos em anfibólios, que possuem os maiores valores destes elementos para a paragênese observada.

6.2.1 Olivina

As composições químicas de todas as análises de olivina foram plotadas no diagrama ternário representado na Figura 25A e B, utilizando-se do programa MinPlot. Na qual pode se observar que a olivina menos forsterítica ainda é 98,86% composta de forsterita (1.10% fayalita e 0,021% Ca-olivina), enquanto que a medição de maior quantidade de Ca é 0,031% Ca-olivina.



Utilizando-se das proporções calculadas de a.p.f.u, pelo programa AX62, foi possível criar os diagramas representados nas Figuras 26, 27, 28A e B, criados de forma a se analisar as mais comuns substituições catiônicas representativas de soluções sólidas para olivinas (Spear, 1993): Mg \rightleftharpoons Fe (Figura 26); Mg \rightleftharpoons Ca (Figura 27); Fe \rightleftharpoons Ca (Figura 28A), também representada a relação entre % de forsterita e Ca (Figura 28B), que se mostra sendo uma versão espelhada da substituição de Fe \rightleftharpoons Ca.

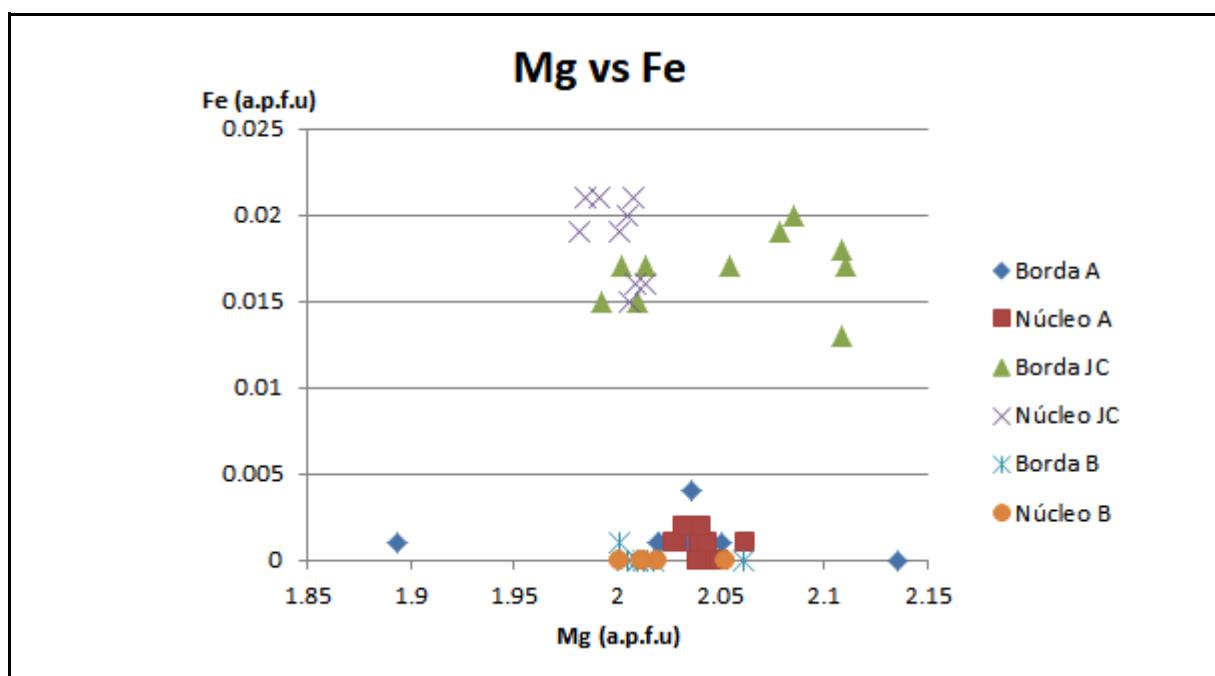


Figura 26: Representação das proporções entre Mg e Fe para as olivinas, separadas em borda e núcleo, para as 3 amostras na qual se observou olivina.

Na Figura 26 é possível ver claramente a separação existente entre as composições dos minerais presentes nas amostras A e B (GB-01-A e GB-02-B, ambos olivina mármore dolomítico com diopsídio e tremolita) e a amostra JC (GB-O1-JC, olivina mármore próximo ao contato). Na qual as olivinas da amostra JC possuem mais de 3 vezes mais Fe do que em A e B. Também percebe-se uma maior regularidade das composições dos núcleos dos minerais, em contraste com suas bordas. Potencialmente indicando recristalizações posteriores ocorrendo nas bordas dos minerais, mas com falta de penetrabilidade para alterarem os núcleos.

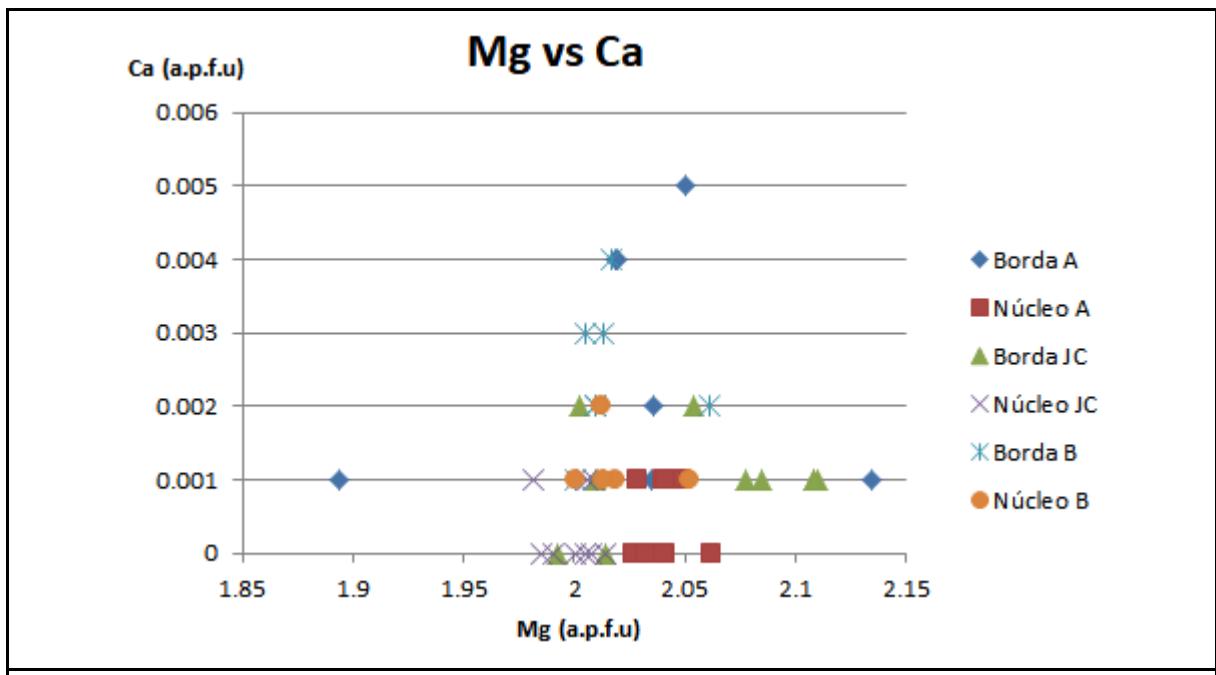


Figura 27: Comparação entre a quantidade de Mg e Ca nas olivinas analisadas.

Como havia sido mencionado para a Figura 25A, é possível observar na Figura 27 que as bordas das olivinas nas amostras A e B possuem os maiores teores de Ca nestes minerais. Indicando, mais uma vez, às características químicas ligeiramente diferentes que podem ser observadas entre os dois conjuntos de amostras (A e B vs JC e K).

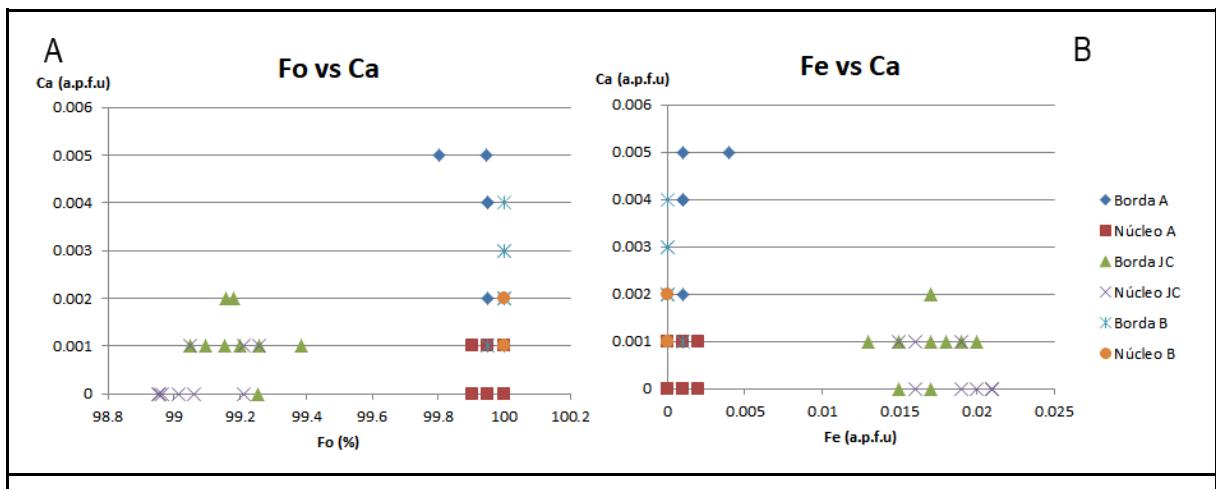


Figura 28A e B: Diagramas comparando-se a proporção de forsterita em relação à Ca, e de Fe em relação à

Ca.

Ambos diagramas representados nas Figuras 28A e B indicam que as olivinas presentes na amostra A e B possuem mais Ca e menos Fe do que as olivinas da amostra JC, assim como havia sido observado com os diagramas das Figuras 26 e 27. Contudo, nestes diagramas (Figura 28A e B) é melhor observável que o mesmo fenômeno que ocorre nas amostras A e B, de aumento da quantidade de Ca nas bordas das olivinas, também ocorre na amostra JC, indicando que o processo que levou à maior incorporação de Ca nas olivinas se deu cronologicamente em um momento posterior à inserção das intrusões magmáticas observadas, e consequente metamorfismo de contato.

6.2.2 Piroxênios

Assim como com as olivinas, todas as composições medidas de piroxênios foram plotadas no diagrama ternário de composições de piroxênios (Figura 29A e B), utilizando-se o programa MinPlot. Na qual é possível não apenas observar uma segregação de composições entre aqueles presentes em cada uma das amostras, mas também uma segregação existente entre a borda e núcleo dos diopsídios da amostra K.

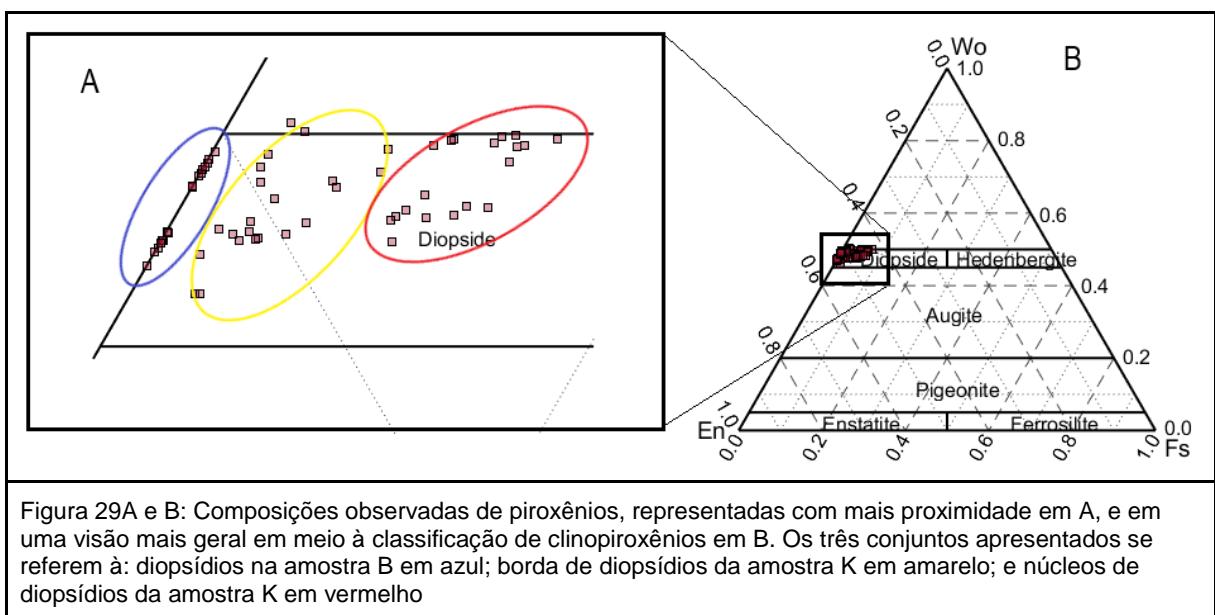


Figura 29A e B: Composições observadas de piroxênios, representadas com mais proximidade em A, e em uma visão mais geral em meio à classificação de clinopiroxênios em B. Os três conjuntos apresentados se referem à: diopsídios na amostra B em azul; borda de diopsídios da amostra K em amarelo; e núcleos de diopsídios da amostra K em vermelho

De forma a melhor analisar as substituições catiônicas existentes nos diopsídios, foram preparados diagramas que representam as seguintes séries de solução sólida (Spear, 1993): Mg \rightleftharpoons Fe (Figura 30); substituição Tschermarkitica, i.e., Al^{IV}Al^{VI} \rightleftharpoons MgSi (Figura 31) e substituição jadeítica, i.e., NaAl \rightleftharpoons MgCa (Figura 32). A substituição Ti-tschermak não foi analisada, uma vez que apenas 3 análises, de 63 no total, apresentaram mais do que 0 a.p.f.u de Ti.

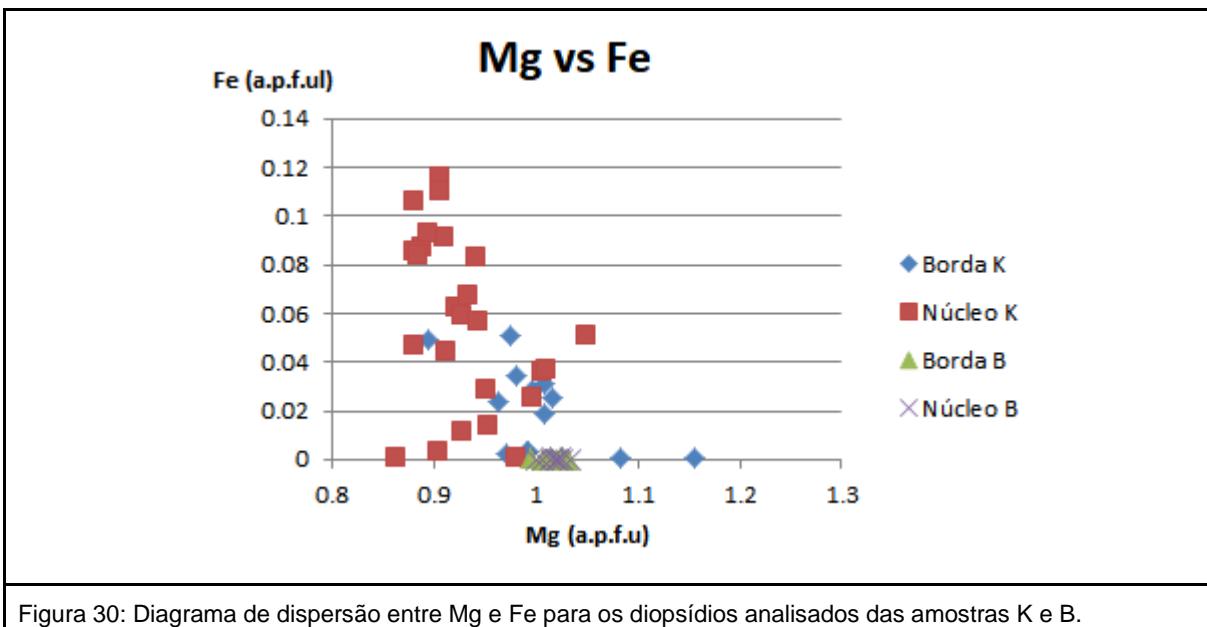


Figura 30: Diagrama de dispersão entre Mg e Fe para os diopsídios analisados das amostras K e B.

Como observável na Figura 30, todos os dados referentes aos diopsídios da amostra GB-02-B (olivina mármore dolomítico com diopsídio e tremolita) tendem a estar agrupados, no caso, não havendo quaisquer diferenças significativas de composição entre borda e núcleo, com relação à quantidade de Fe na fórmula estrutural. Enquanto isso, para os diopsídios da amostra K (skarn), há uma relativa grande dispersão: há ao mesmo tempo núcleos com 0 Fe a.p.f.u, e com 0.116 Fe a.p.f.u, havendo uma distribuição contínua ao longo deste intervalo. Interessantemente, foi medido menos Fe nas bordas dos diopsídios da amostra K, indicando que assim como foi observado com a inserção de Ca nas olivinas, provavelmente ocorreu ou um crescimento das bordas em um segundo momento, diferente da cristalização dos núcleos, ou uma recristalização das bordas em condições PxT diferentes da dos núcleos.

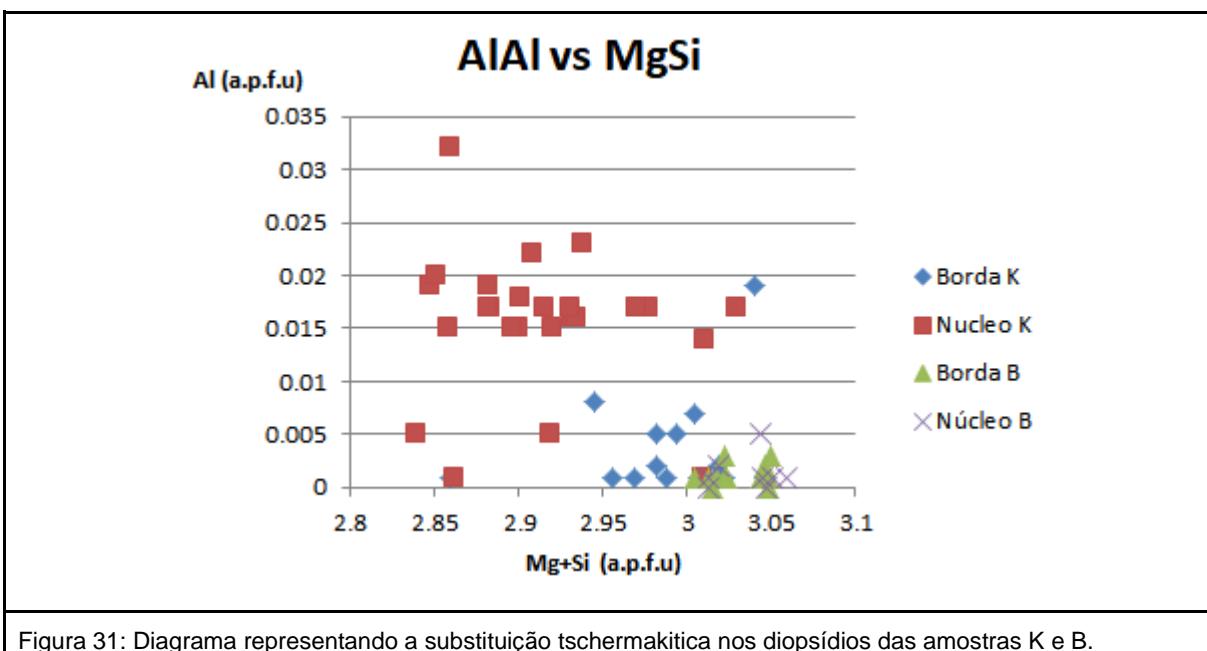
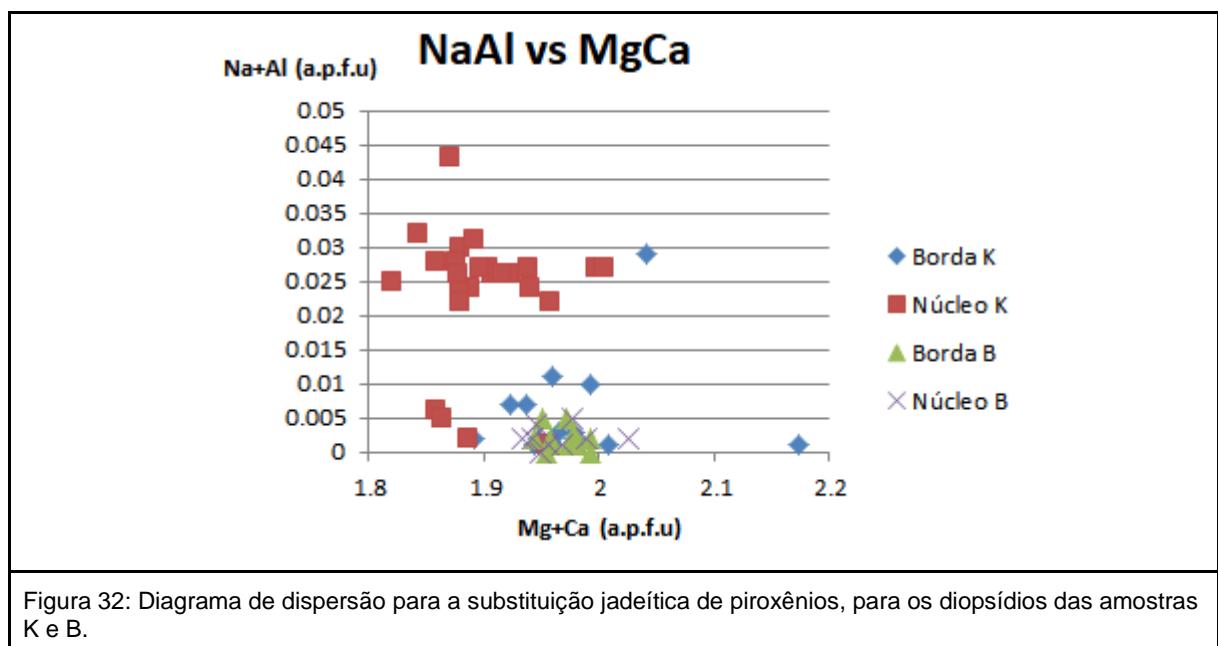


Figura 31: Diagrama representando a substituição tschermakítica nos diopsídios das amostras K e B.

Diferentemente do observado na Figura 30, na Figura 31 há uma relativa baixa dispersão e grande concentração de composições dos núcleos de diopsídio da amostra K, quando se considerando a quantidade de Al presente: há uma concentração em

0.017 ± 0.005 que engloba quase todas as análises de núcleos, com a dispersão no eixo Mg+Si sendo relacionada mais à solução sólida entre Mg e Fe (Figura 30). Neste diagrama fica mais evidente a possível existência de uma 2a fase de cristalização para os diopsídios da amostra K, uma vez que a composição das bordas dos cristais está mais próxima da composição dos cristais da amostra B, do que dos núcleos da amostra K, o que levaria esta cristalização a estar mais próxima da composição não perturbada por intrusões magmáticas.

A Figura 32 se mostra relativamente semelhante à Figura 31: Todas as análises, tanto de borda quanto de núcleo, dos diopsídios da amostra B estão próximas, indicando uma baixa variação composicional entre borda e núcleo. Há uma aproximação das composições das bordas dos diopsídios da amostra K às composições observadas para a amostra B, assim como algumas poucas composições de núcleos da amostra K. Assim como pode ser observada nas Figuras 30 e 31, há uma amostra de núcleo K que se encontra consistentemente em meio às análises da amostra B, além de alguns outros núcleos K que se aproximam grandemente da composição de B, possivelmente indicando a existência de uma diferente geração de diopsídios que a maioria observada.



6.2.3 Anfibólios

As composições medidas dos anfibólios (Figura 33) foram plotadas utilizando-se a tabela de excel criada no trabalho de Locock (2014). Diferentemente dos minerais tratados anteriormente, não é possível realizar uma distinção simples entre os anfibólios, contudo, assim como nos anteriores, as composições químicas indicam que todos possuem um teor de tremolita entre 100% e 80%, indicando o carácter pouco ferro-aluminoso destas rochas.

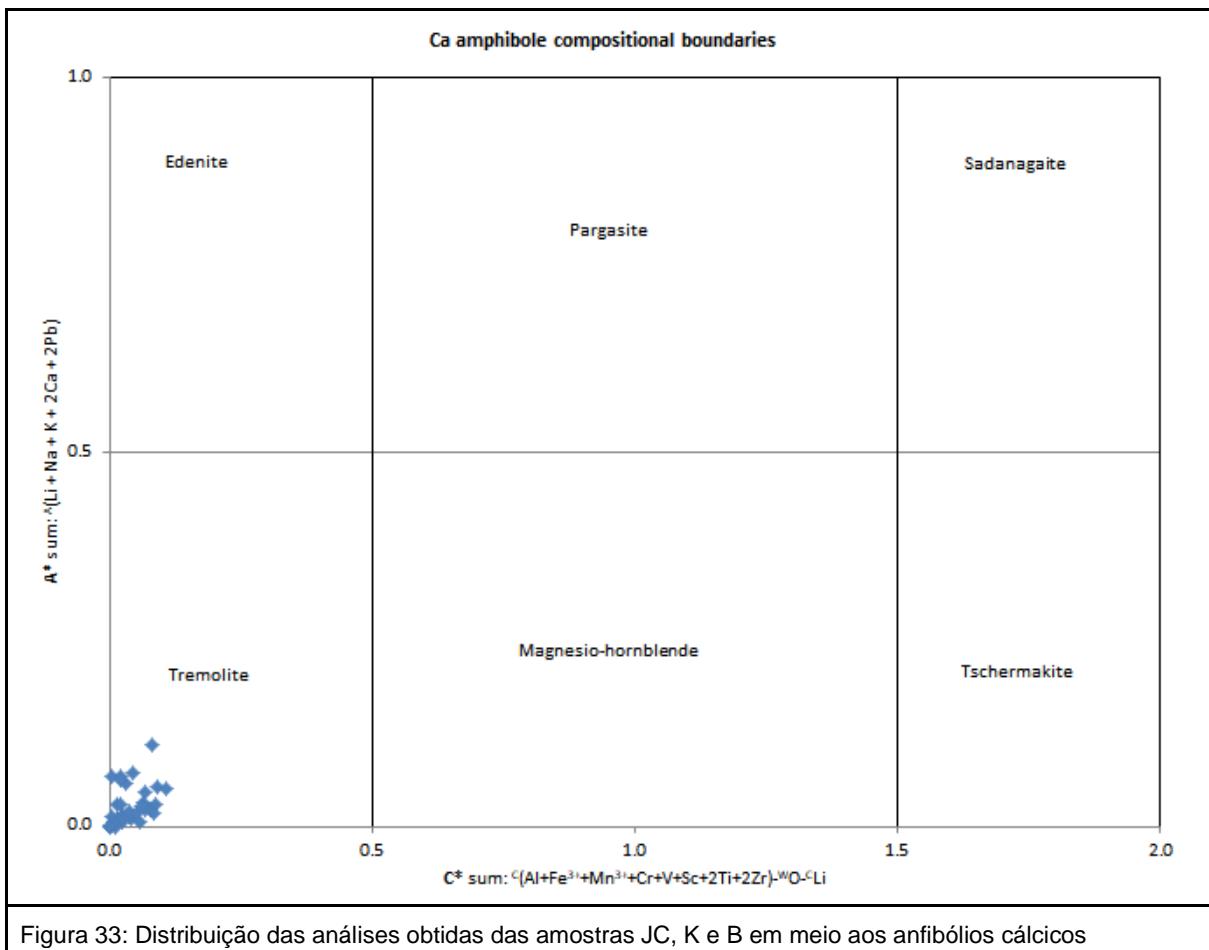


Figura 33: Distribuição das análises obtidas das amostras JC, K e B em meio aos anfibólios cálcicos

Para os anfibólios, foram preparados diagramas para se investigar 3 séries de solução sólida (Spear, 1993): Mg \rightleftharpoons Fe (Figura 34); Tschermakitica ($\text{Al}^{\text{IV}}\text{Al}^{\text{VI}} \rightleftharpoons \text{MgSi}$) (Figura 35) e edenítica ($\text{NaAl} \rightleftharpoons \text{oSi}$) (Figura 36).

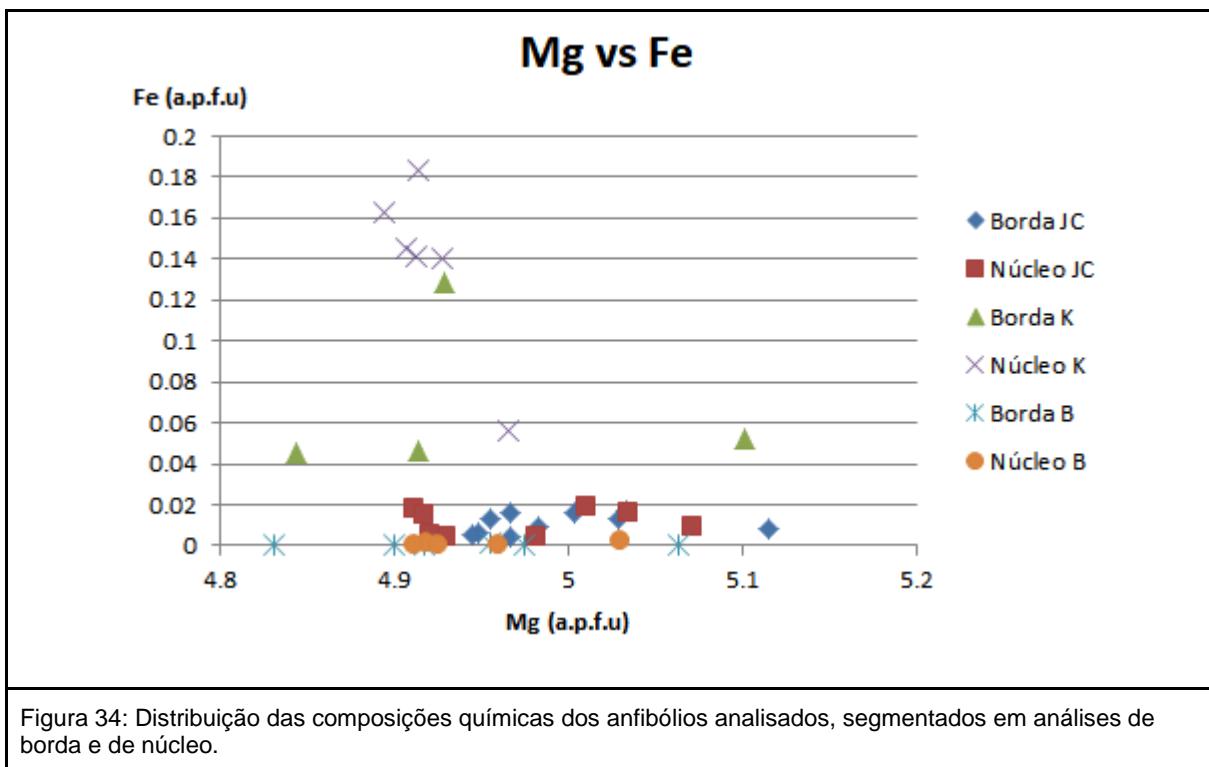


Figura 34: Distribuição das composições químicas dos anfibólios analisados, segmentados em análises de borda e de núcleo.

Assim como foi observado com os diopsídios, é possível identificar os anfibólios pertencentes à amostra K (Figura 34) pela maior quantidade de Fe presente em sua estrutura, a redução na a.p.f.u do núcleo à borda dos anfibólios da amostra K também ocorre como observada na Figura 30, havendo uma diferença mais significante do que a observada nos piroxênios. As análises para a amostra JC indicam poucas diferenças entre borda e núcleo no que tange a quantidade de Fe presente, sendo mais significante a dispersão com base na quantidade de Mg presente, o que também ocorre com as análises da amostra B, uma vez que estas não apresentam Fe, mas diferentemente do que observado com outros minerais, estas análises não se encontram agrupadas em relação à Mg.

A tendência observada de maiores teores de Al nas amostras próximas ao contato magmático se mantém na Figura 35, na qual também se nota que os núcleos dos anfibólios tendem a possuir maiores concentrações de Al, se comparados com as bordas, mesmo que não seja tão constante quanto o observado com os diopsídios (Figuras 31 e 32). Da maneira como estão posicionadas as análises, também é possível de se inferir que houve, em pequena escala, substituições tschermakíticas nestes anfibólios, consistentemente com o que se observa na Figura 33, na qual há um trend de análises em direção à magnésio-hornblenda.

A substituição edenítica, representada na Figura 36, se mostra generalizadamente presente nos anfibólios analisados, mesmo que em pequena escala. Uma vez que são observadas tendências à formação de linhas diagonais, representando uma redução da quantidade de Si na fórmula unitária, conforme o aumento da quantidade de Na e Al presentes.

Algo importante de se perceber em meio às análises de anfibólios, é que estes são os minerais com maiores quantidades de Fe e Al presentes nos minerais analisados. Partindo-se do princípio de que os membros finais ferrosos (em detrimento de magnesianos) tendem à serem estáveis em condições metamórficas menores (Bucher e Grapes, 2011), e que tremolita e outros anfibólios não estariam estáveis nas condições necessárias à formação de olivina e diopsídio, seria possível inferir que a formação de tremolita durante um processo de retro-metamorfismo, o que poderia também explicar as diferenças de composição observadas entre bordas e núcleos de piroxênios e olivinas.

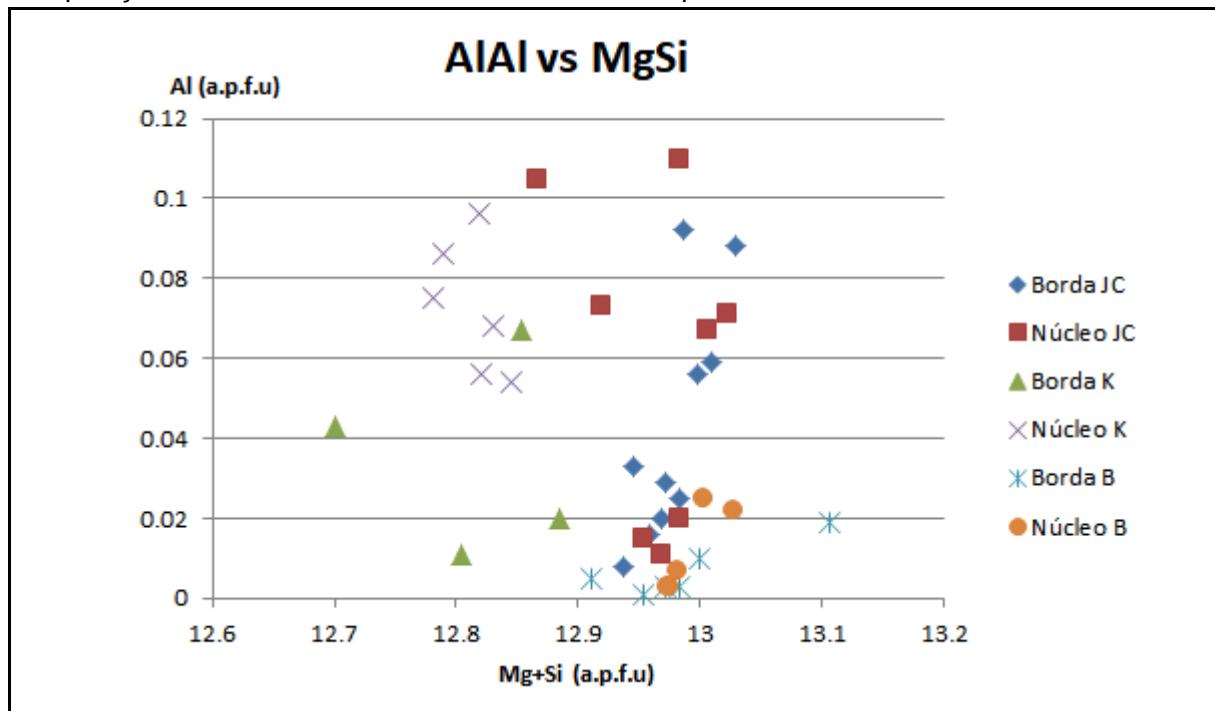


Figura 35: Dispersão das composições químicas dos anfibólios analisados, em relação à substituição tschermakítica.

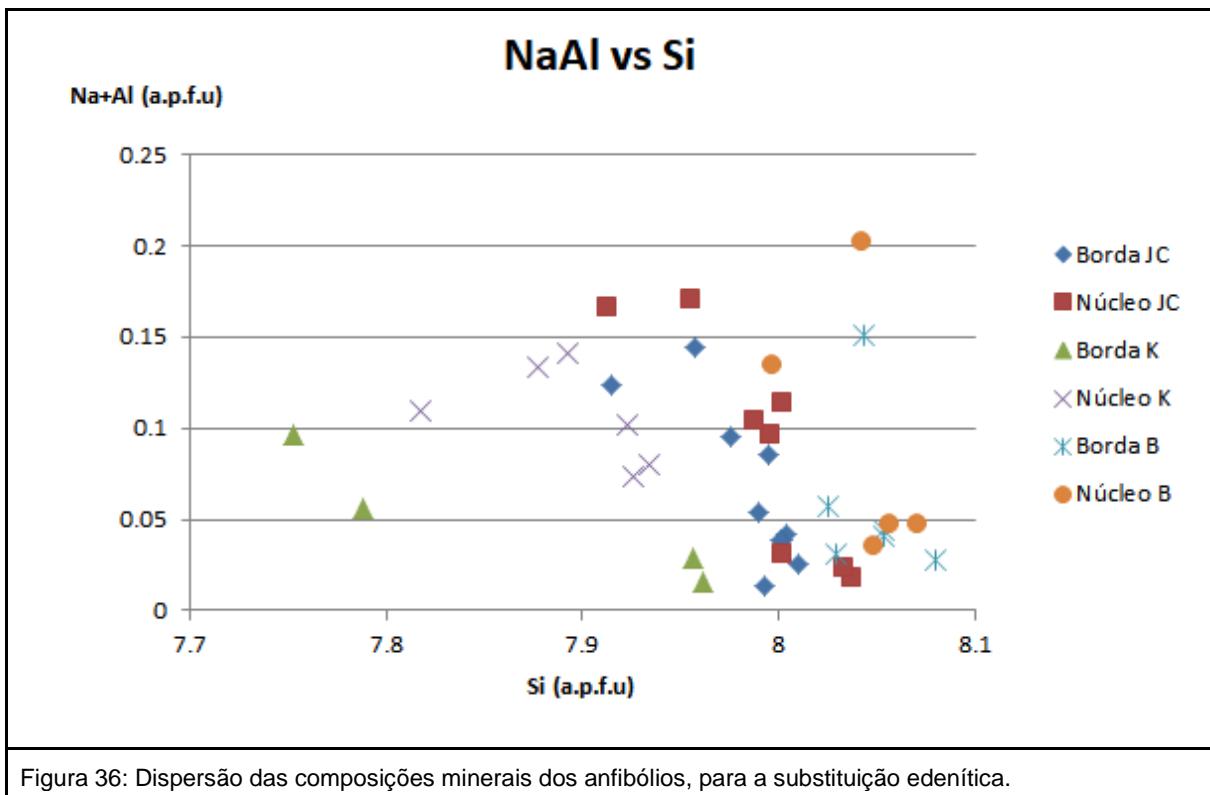


Figura 36: Dispersão das composições minerais dos anfibólios, para a substituição edenítica.

6.2.4 Carbonatos

As composições de carbonatos (Figura 37) foram plotadas utilizando-se a tabela de excel Triquik, disponibilizada pelo professor Dave Waters, da Universidade de Oxford.

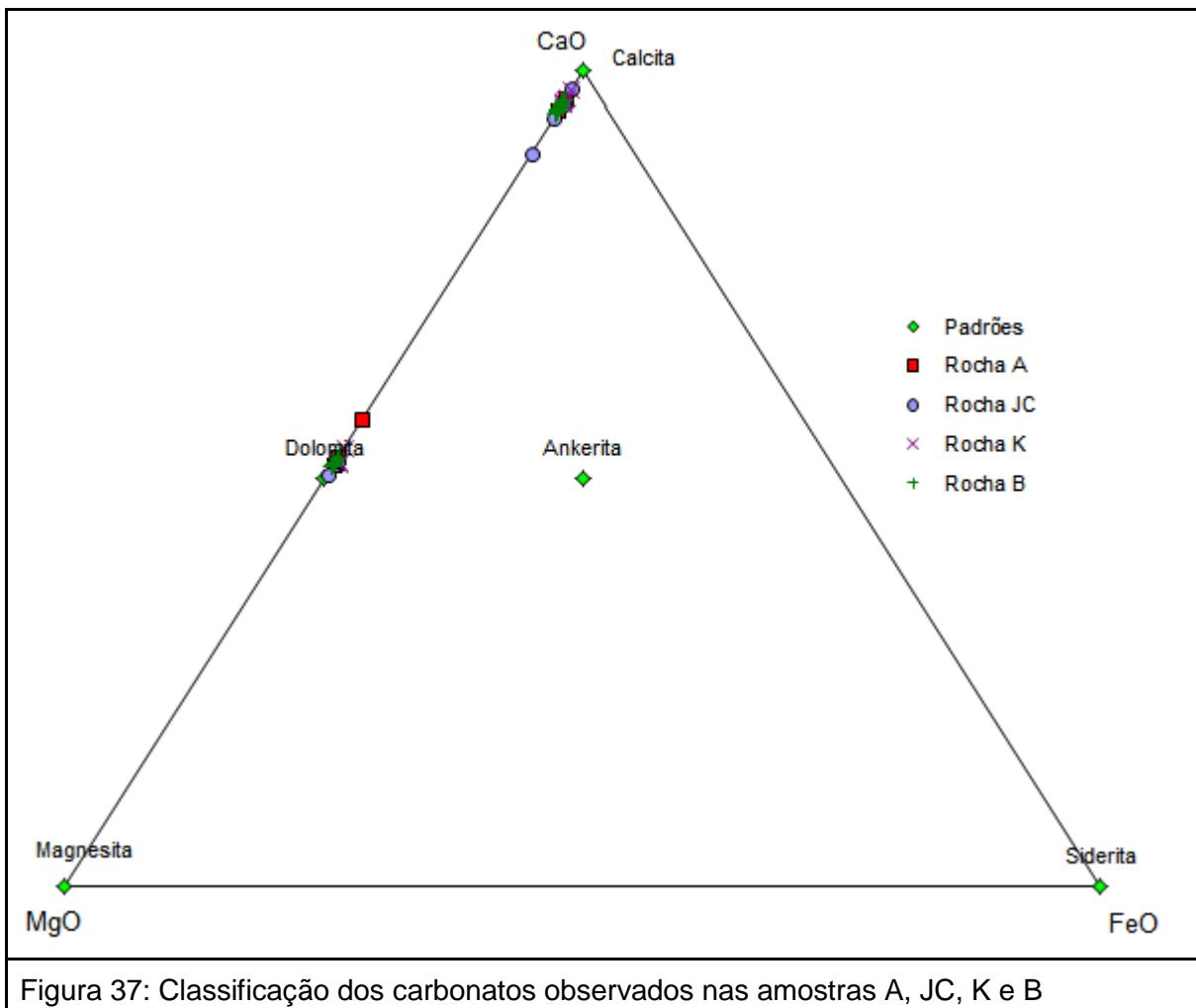


Figura 37: Classificação dos carbonatos observados nas amostras A, JC, K e B

Assim como para os demais minerais, foram construídos diagramas de dispersão com o intuito de se analisar algumas das principais substituições catiônicas possíveis (Spears, 1993) $\text{Ca} \rightleftharpoons \text{Mg}$ (Figura 38); $\text{Ca} \rightleftharpoons \text{Fe}$ (Figura 39) e $\text{Ca} \rightleftharpoons \text{Mn}$ (Figura 40), não sendo representado o diagrama da substituição $\text{Mg} \rightleftharpoons \text{Fe}$, uma vez que este é uma cópia espelhada idêntica do diagrama $\text{Ca} \rightleftharpoons \text{Fe}$. Diferentemente dos demais minerais, não se observou diferenças significativas na construção destes diagramas separando-se análises de borda de análises de núcleo, de tal maneira que preferiu-se a representação sem esta separação, por ser mais simples de entender.

A partir da análise da Figura 38, percebe-se que há uma perfeita representação da substituição $\text{Ca} \rightleftharpoons \text{Mg}$, que apesar de não possuir dados contínuos, indica que há esta solução sólida entre os extremos cálcico (calcita) e o magnesiano (dolomita), havendo até 10% a mais de Mg (a.p.f.u) nas calcitas, e até 8% de Ca (a.p.f.u) a mais do que o esperado nas dolomitas.

A relação $\text{Ca} \rightleftharpoons \text{Fe}$, representada na Figura 39 mostra primariamente informações já observadas ao longo da análise dos demais minerais: Há uma maior quantidade de Fe (a.p.f.u) nas análises das amostras JC e K, que nas amostras A e B. Interessantemente, é possível observar também o caráter das trocas catiônicas existentes entre $\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Ca}$ e $\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Mg}$, que tende (Spears, 1993) a ser mais completa e preferencial entre Fe e Mg, devido a sua maior proximidade de tamanho atômico.

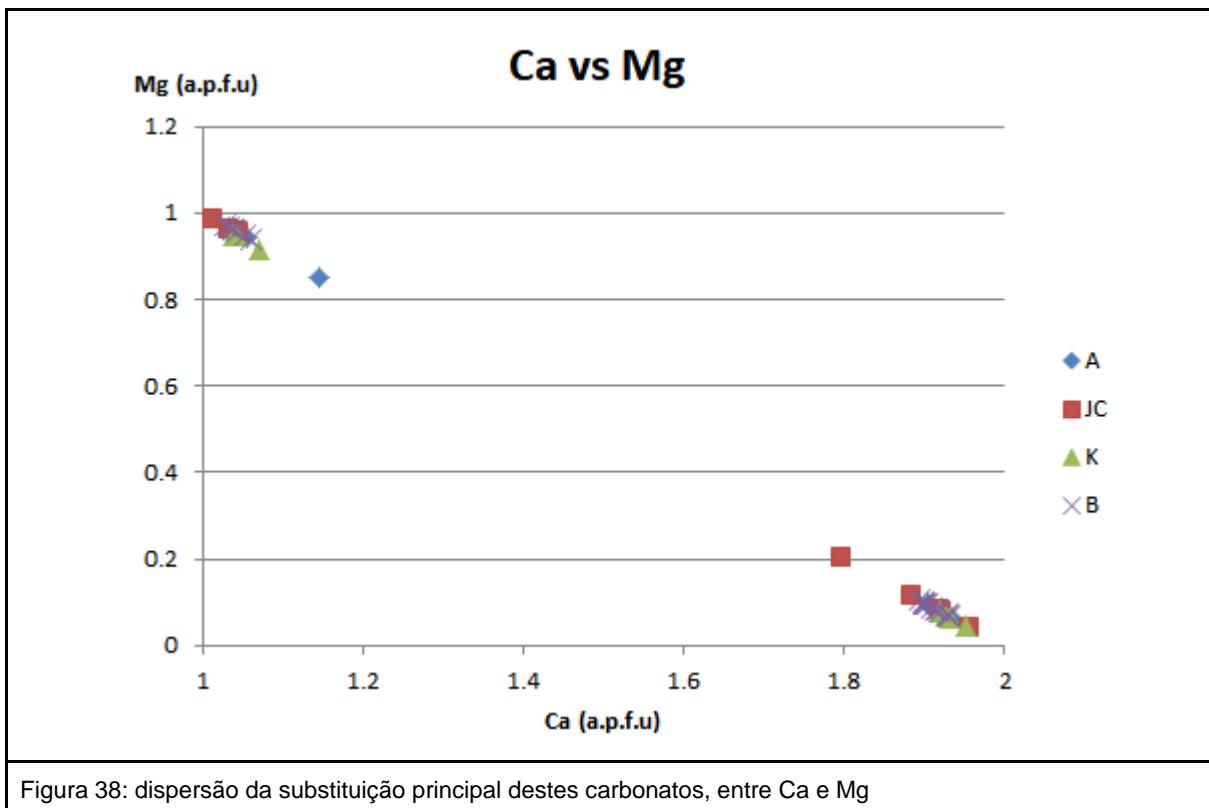


Figura 38: dispersão da substituição principal destes carbonatos, entre Ca e Mg

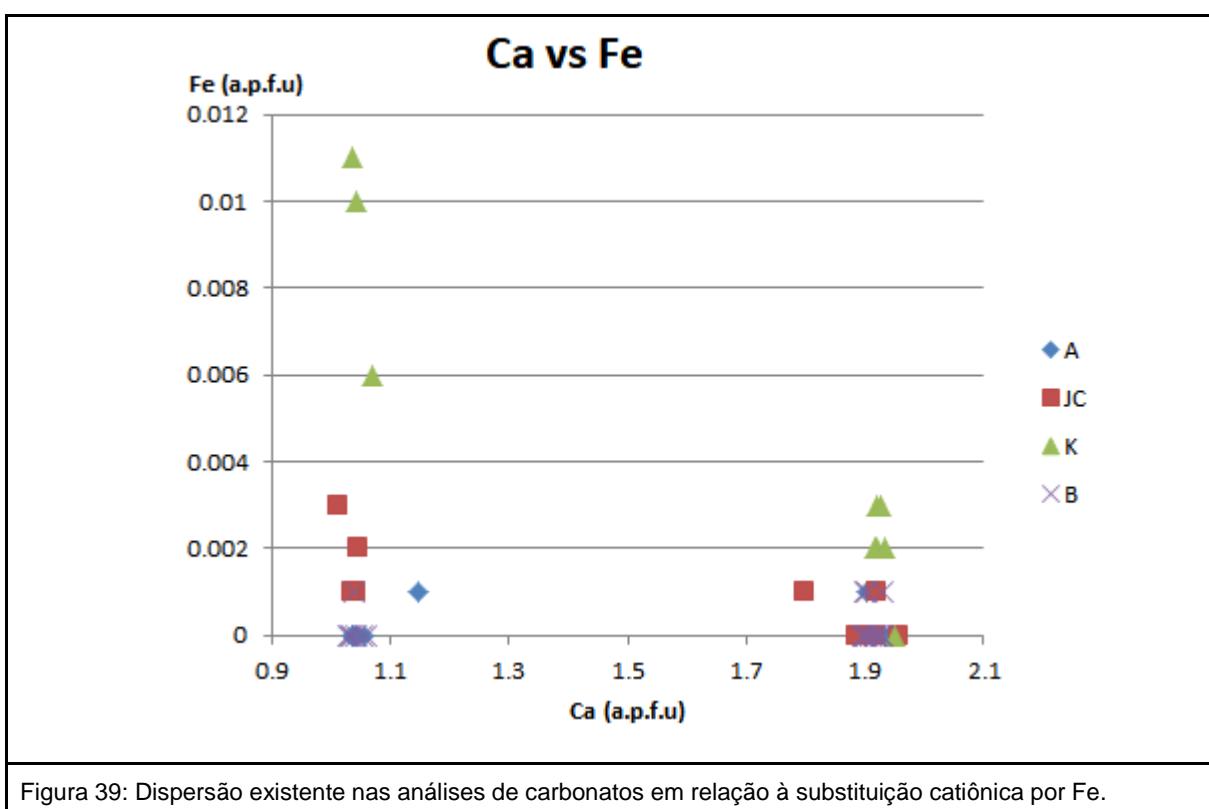


Figura 39: Dispersão existente nas análises de carbonatos em relação à substituição catiônica por Fe.

Semelhante à Figura 39, a Figura 40 representa que as intrusões magmáticas além de inserir um pouco de Fe e Al no sistema químico dos mármores dolomíticos, também contribuíram para a mobilização de Mn. E que esta se deu em não apenas em menor escala, mas também em menor alcance do que com o Fe, estando quase que unicamente associada à amostra K, que se encontrava diretamente em contato com as intrusões

magmáticas, e que quase não é observada a uma distância de 20cm do contato (amostra GB-01-JC).

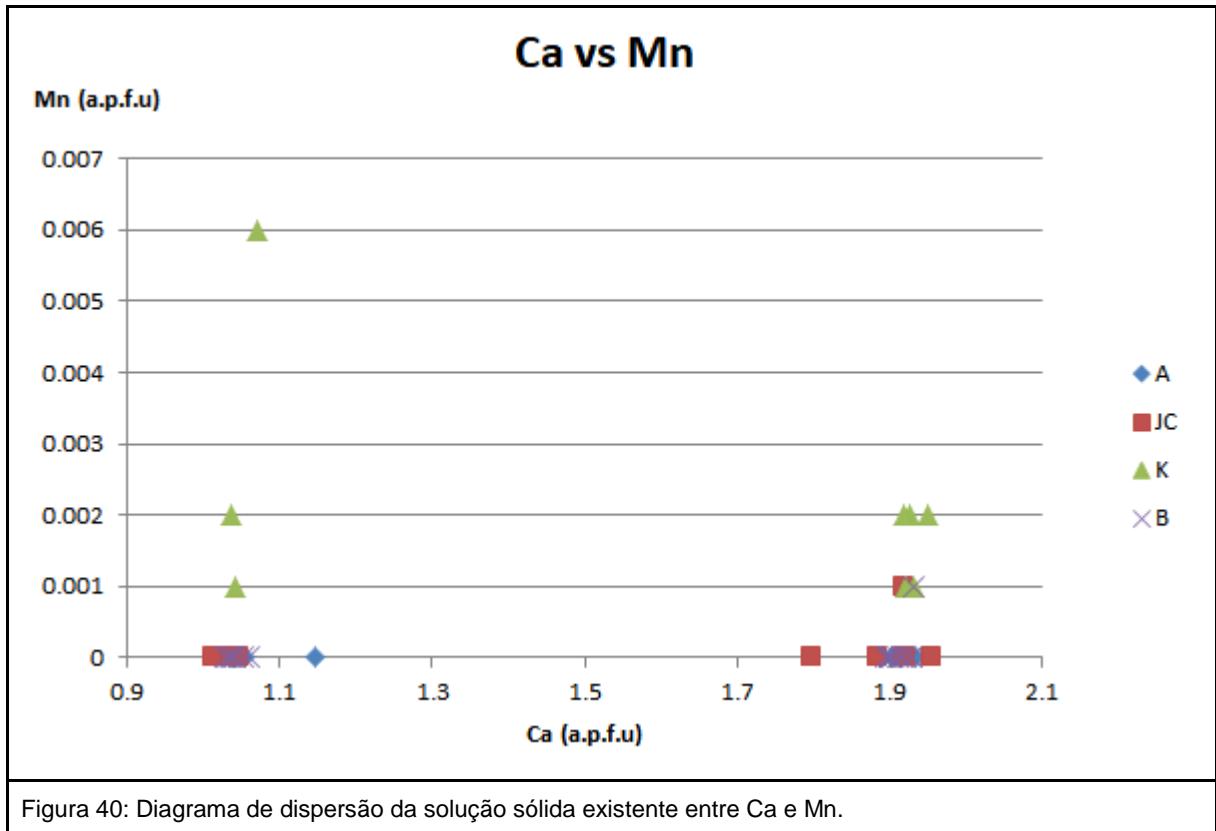


Figura 40: Diagrama de dispersão da solução sólida existente entre Ca e Mn.

6.3 Pseudosseções TxXCO₂

Utilizando as análises de rocha total (Tabela 1) obtidas para amostras representativas das camadas magnesianas de mármore (GB-01-A e GB-02-B (ambos olivina mármore dolomítico com diopsídio e tremolita, diferindo da 01-A ser proveniente da cava velha, enquanto que a 02-B provém da cava nova)), foram modeladas um total de seis pseudosseções: no intervalo entre 300 e 900°C, para pressões de 5 (Figura 41 e 42), 7 e 10 (Figura 43 e 44) kbar, para cada uma das análises, utilizando-se do programa PERPLEX (as pseudosseções sem encontram em um maior tamanho no Anexo C). Devido a serem muito semelhantes quimicamente, há grandes similaridades entre ambas modelagem para uma dada pressão. As modelagens foram feitas no sistema químico modelo MgO-FeO-CaO-SiO₂-Al₂O₃-H₂O-CO₂. Alternativamente, algumas modelagens sem Al₂O₃ foram feitas para uma das amostras em valores de 5 e 7 kbar.

Vale ressaltar que a coloração original das pseudosseções produzidas pelo programa (Anexo C) indica o grau de liberdade do sistema, com tons mais escuros sendo empregados à paragêneses de maior grau de liberdade.

Diferentemente do que havia se suposto, a partir apenas de diagramas consagrados (Bucher e Grapes, 2011), utilizados durante a análise de campo e petrográfica, a modelagem de pseudosseções indicou composições de fluidos ricos em gás carbônico

A análise das Figuras 41 e 42, i.e., com pressão de 5 kbar, para a paragênese de Do+Cc+Cpx+Fo (colorida em vermelho), indica um sistema de fluidos com XCO₂ mínimo de 20%, se mantendo estável até XCO₂ de 100%, em um intervalo de temperaturas entre

660 ± 2 e $760 \pm 10^\circ\text{C}$, apresentando estabilidade em maiores temperaturas conforme aumento do XCO_2 .

Enquanto isso, nas Figuras 43 e 44, à 10 kbar, a paragênese se torna estável a partir de XCO_2 de 10%, em temperaturas de $760 \pm 6^\circ\text{C}$ até $900 \pm 15^\circ\text{C}$, apresentando uma influência maior do XCO_2 do que o observado em 5 kbar.

Uma questão a se notar na análise destas pseudosseções (Figuras 41 à 44), considerando-se as rochas estudadas (Tabela 1), é que apesar das figuras indicarem a presença e estabilidade de diversos minerais aluminosos (exemplo: gedrita (ged), espinélio (Sp), enstatita (en), anortita (an), etc) estes representariam uma quantidade tão ínfima na rocha que provavelmente não seriam passíveis de serem observados em lâmina ou amostra de mão, apenas com muita sorte.

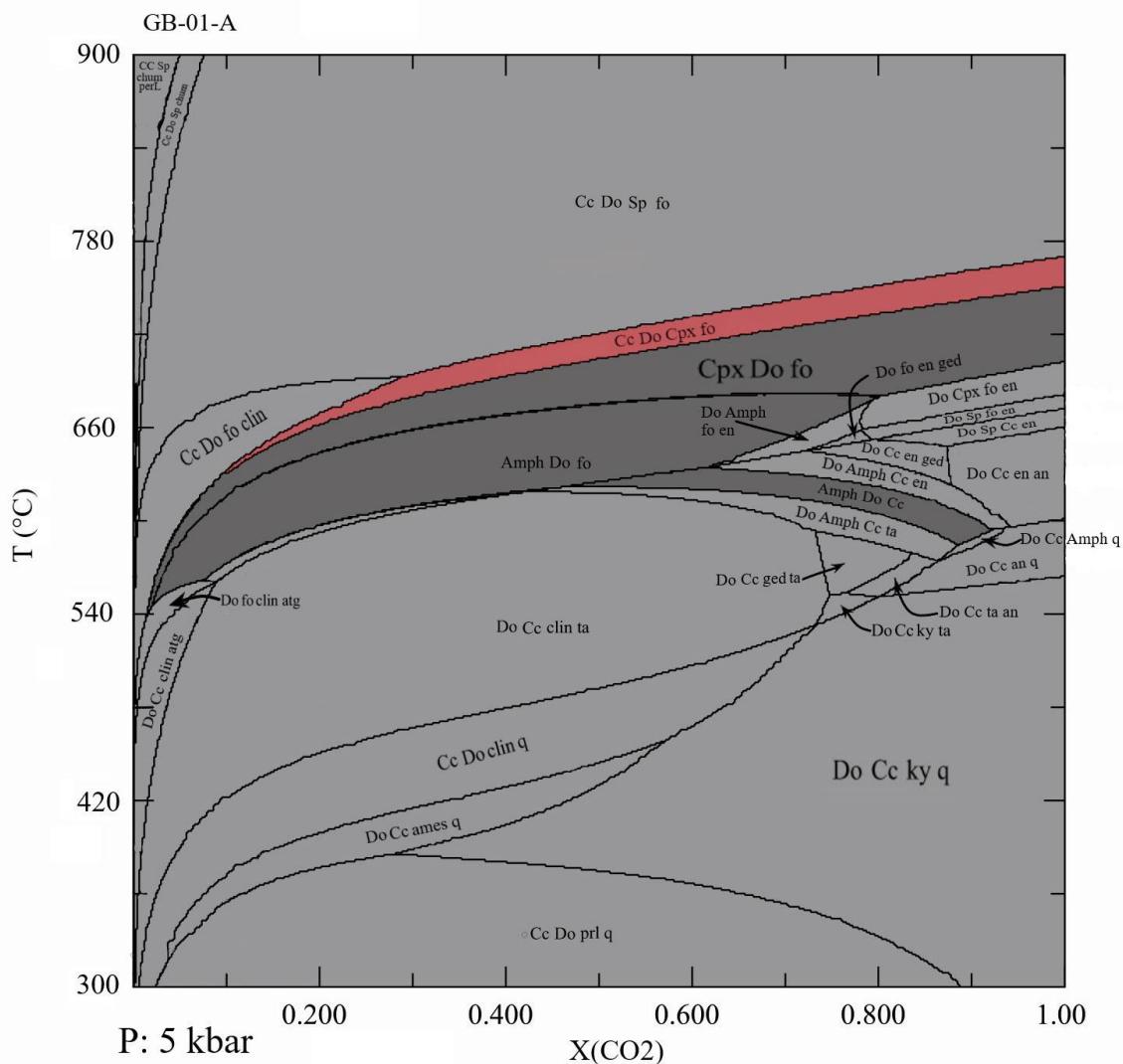


Figura 41: pseudosseção da amostra GB-01-A à 5 kbar.

Apesar de serem modeladas às pseudosseções para 7 kbar, estas não foram inseridas neste trabalho por representarem um intermediário entre o observado para 5 e 10 kbar: se posicionando entre $710 \pm 4^\circ\text{C}$ e $830 \pm 12^\circ\text{C}$, em condições de XCO_2 maiores do que 15%.

Devido à modelagem apresentar siglas que muitas vezes não são claras sobre qual mineral se trata, esta seção trata de servir como um glossário e legenda das Figuras 41 à 44, o qual representa especificamente as siglas utilizadas pelo programa PERPLEX:

Cc - calcita	an - anortita	rnk - rankinita
Do - Dolomita	atg - antigorita	
prl - pirofilita	fo - forsterita	
q - quartzo	Amph - anfibólio	
ames - amesita	en - enstatita	
clin - clinocloro	Sp - espinélio	
ky - cianita	Cpx - clinopiroxênio	
ta - talco	chum - clinohumita	
ged - gedrita	per - periclásio	

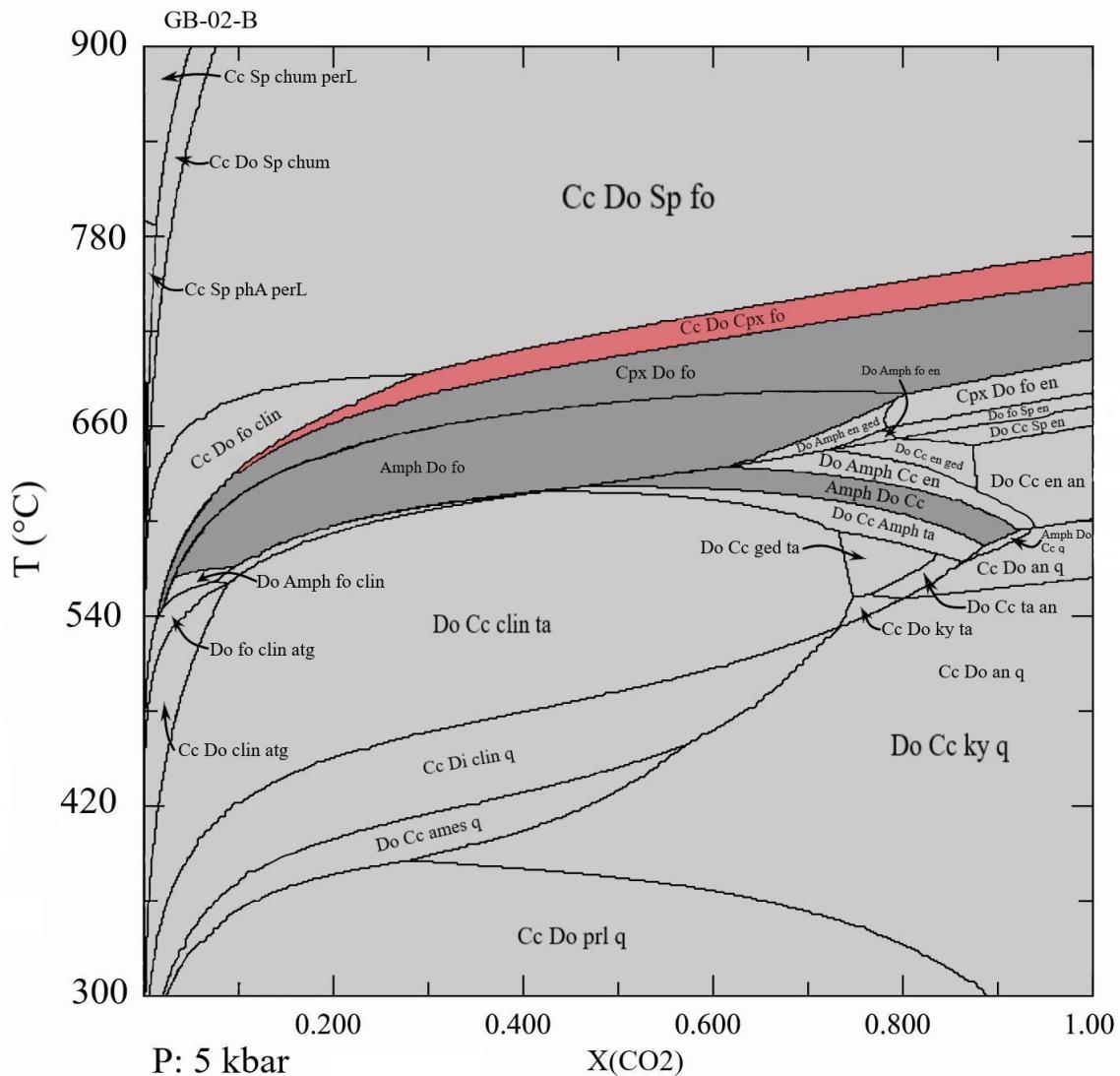


Figura 42: pseudossecção da amostra GB-02-B à 5 kbar.

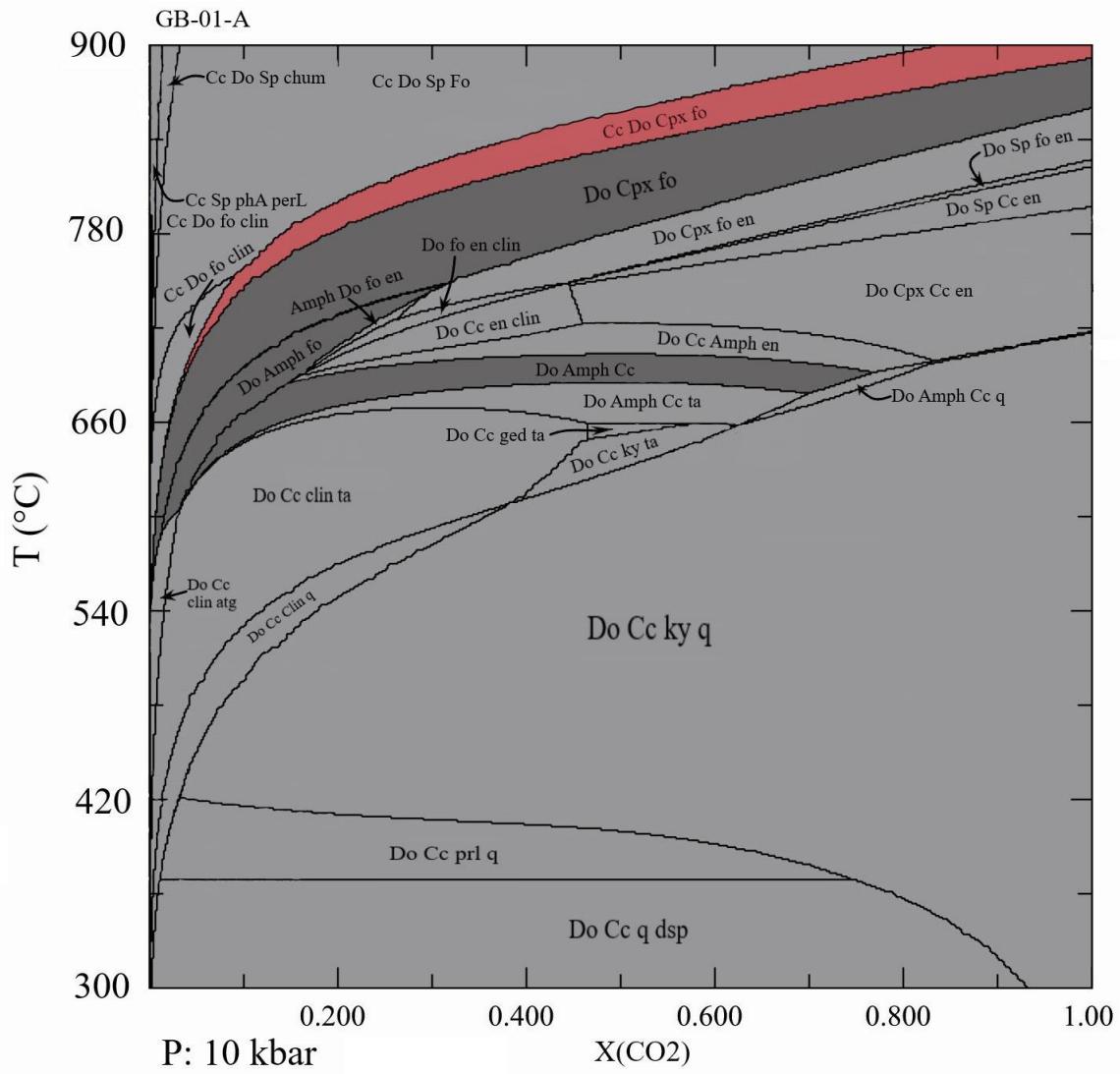


Figura 43: Pseudosseção da amostra GB-01-A à 10 kbar.

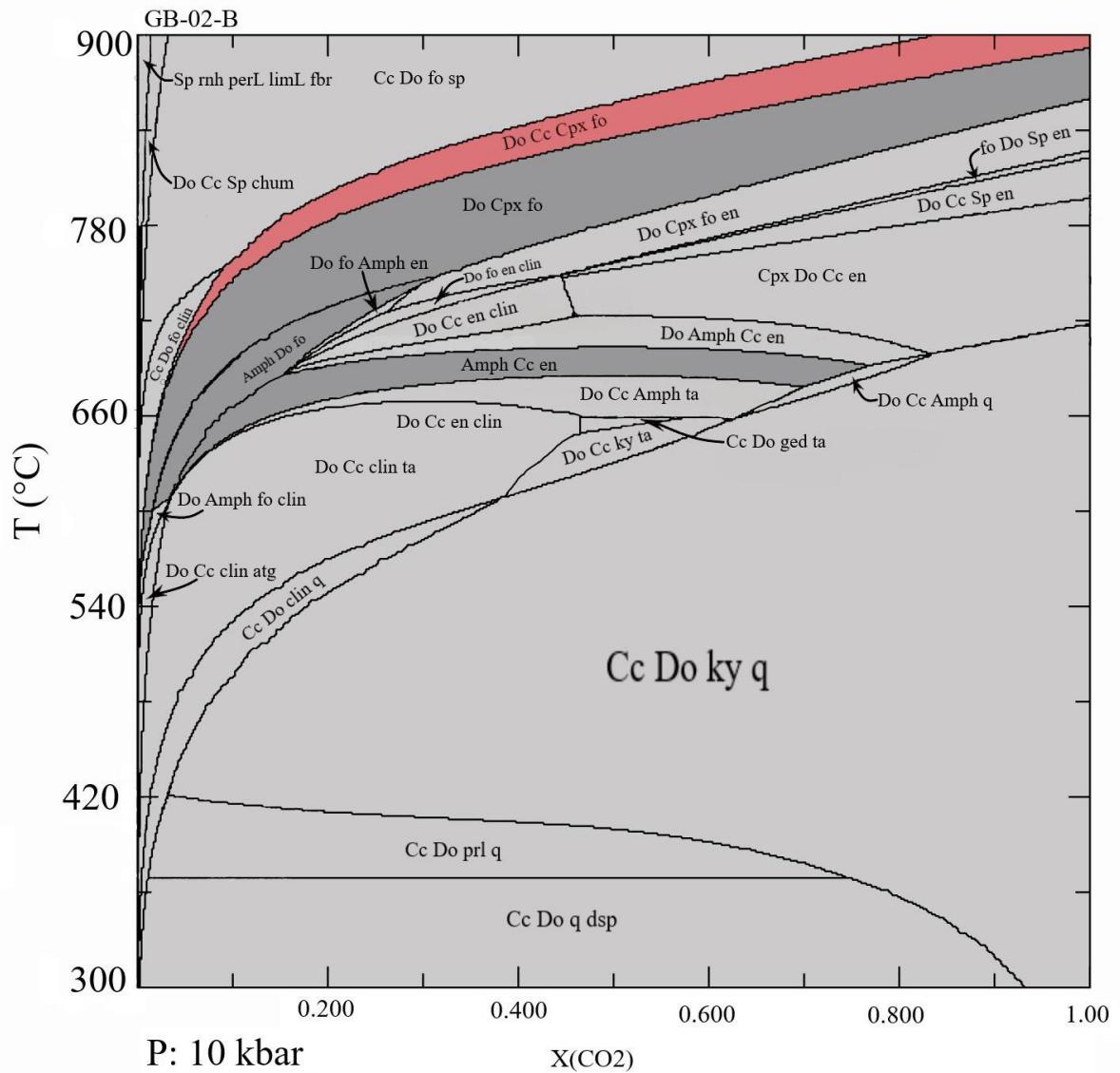


Figura 44: Pseudosseção da amostra GB-02-B à 10 kbar.

Ao longo da modelagem, testou-se o cálculo de pseudosseções para as mesmas composições, mas não contabilizando-se o Al₂O₃ presente. Encontrando-se que estas não geram campos com a paragênese observada na rocha, ou seja, com as quatro fases, dolomita + calcita + diopsídio + forsterita. Isso provavelmente indica que mesmo a quantidade de Al₂O₃ ser muito baixa, ela é suficiente e importante para estabilizar o diopsídio na rocha, única fase a mais usualmente incorporar o elemento.

A presença da tremolita, observada em algumas lâminas se dá pela existência de ao menos uma fase de retro-metamorfismo, o qual unido à uma menor temperatura e pressão, pela análise das Figuras 41 à 44, indicaria a presença de fluidos potencialmente mais ricos em água, uma vez que a estabilidade de paragêneses com anfibólio não se mostram estáveis em condições de partição de XCO₂ maiores que 90%.

7. CONCLUSÃO

Assim como Alves et al (1976) havia observado em seu trabalho, que primeiro descreveram os mármoreis encontrados nesta região, foram descritos olivina-mármoreis

dolomíticos com diopsídio, possuindo diopsídio-skarnitos subordinados à contatos com intrusões magmáticas.

As análises químicas indicam que se tratam de rochas que possuem quantidades insignificantes de ferro e alumínio. Parâmetro que é indicativo de protólitos constituídos de uma combinação de calcários quase puros com sedimentos quartzosos, possuindo pouco a nenhum aporte de argilas.

A análise de química mineral revelou os efeitos de metassomatismo e metamorfismo de contato em mármores quase puros: uma grande elevação dos teores de FeO, Al₂O₃, MnO e SiO₂, crescentes conforme o quanto mais próximo do contato com a rocha intrusiva, evidenciando algum metassomatismo.

As condições metamórficas mínimas de formação destas rochas indicam temperaturas acima de 660±2°C, com XCO₂ superior à 20% à 5 kbar de pressão, condições de metamorfismo à fácie anfibolito. Com condições máximas de temperaturas acima de 900±16°C à pressão de 10 kbar, posicionado dentro da fácie granulito.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, F. R., Kihara, Y., Cândida, M. A. F. (1976). Os mármores dolomíticos do Vale do Rio dos Marmelos (Campos do Jordão, SP). XXIX Congresso Brasileiro de Geologia, v. 4, 198. Recife: SBG

Asfora, V.K., (2010). FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X POR DISPERSÃO DE ENERGIA APLICADA À CARACTERIZAÇÃO DE TIJOLOS DE SÍTIOS HISTÓRICOS DE PERNAMBUCO. Tese (Mestrado). Recife: Departamento de energia nuclear. UPE

Best. M.G. (2003). Igneous and Metamorphic Petrology. Blackwell Publishers, 758p.

Bucher, K.N. (1980) Petrology of chorite-spinel marbles from NW Spitsbergen (Svalbard). *Lithos*, Vol 14, pp 203-213.

Bucher, K., Grapes, R. (2011). Petrogenesis of Metamorphic Rocks. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 441p.

Campos Neto, M.C., Caby, R. (1999). Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from the nappe system south of the São Francisco Craton, southeast Brazil. *Precambrian Research*, Vol. 97, p. 3-26

Campos Neto, M.C., Caby, R. (2000). Terrane accretion and upward extrusion of high-pressure granulites in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil: Petrologic and structural constraints. *Tectonics*, Vol 19(4), p. 669-687

Campos Neto, M.C., Basei, M.A.S., Vlach, S.R.F., Caby, R., Szabó, G.A.J., Vasconcelos, P. (2004). Migração de Orógenos e Superposição de Orogêneses: Um Esboço da Colagem Brasiliana no Sul do Cráton do São Francisco, SE - Brasil. *Revista do Instituto de Geociências - USP*, Vol 4(1), p.13-40

Campos Neto, M.C., Janasi, V.A., Basei, M.A.S., Siga Jr, O. (2007). Sistema de nappes Andrelândia, setor oriental: litoestratigrafia e posição estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, Vol. 37(4), p. 47-60

Gomes, C. B. (2015) A Microssonda Eletrônica na Geologia. Edusp, 248p

Maurice, A.E., Basta, F.F., Fontboté, L. (2006) PRECAMBRIAN BASIC GRANULITE, OLIVINE MARBLES AND CALC-SILICATE ROCKS FROM WEST GABAL KAMEL AREA, WESTERN DESERT OF EGYPT: PETROGRAPHY, GEOCHEMISTRY AND METAMORPHIC CONDITIONS. International Conference of Geology in the Arab World (GAW8), Cairo University (2006), p 261-278

Locock, A.J. (2014). An Excel spreadsheet to classify chemical analyses of amphiboles following the IMA 2012 recommendations. Computer & Geosciences, Vol 62, pp 1-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2013.09.011>

Oliveira, M.C., Lima, A.P., Figueiredo, R.M., Acciari, H.A., Codaro, E.N. (2018). Um estudo termodinâmico da corrosão dos aços carbono pelo sulfeto de hidrogênio - explorando conceitos de equilíbrio químico. Química Nova, Vol 41 (5), p 594-599. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170186>

Peternel, R.N.M., Trouw, R.A.J., Vinagre, R.C.C., Ramos, R.R.C. (2020) Geologia e recursos minerais da folha Campos do Jordão SF.23-Y-B-V: estados de Minas Gerais e São Paulo. Rio de Janeiro: CPRM, UFRJ, 2020. Escala 1:100.000

Powell, R., Holland, T., Worley, B. (1998). Calculating phase diagrams involving solid solutions via non-linear equations, with examples using THERMOCALC. Journal of Metamorphic Geology, Vol 16, p 577-588

Powell, R., Guiraud, M., White, R.W. (2005). TRUTH AND BEAUTY IN METAMORPHIC PHASE-EQUILIBRIA: CONJUGATE VARIABLES AND PHASE DIAGRAMS. The Canadian Mineralogist, Vol 43, pp 21-33

Powell, R., Holland, T.J.B. (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, Vol 29, pp 333-383. doi:10.1111/j.1525-1314.2010.00923.x

Rosen, O., Fettes, D., Desmons, J. 2007. Chapter 2.7: Metacarbonate and related rocks. In Metamorphic Rocks: A Classification and Glossary of Terms. IUGS

Spear, F.S. (1993). Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. Mineralogical Society of America. 799pp.

Tröger, W.E. 1979. Optical Determination of Rock-Forming Minerals, Part 1: Determinative Tables. Lubrecht & Cramer Ltd. 188 pg.

Trouw, R.A.J., Peternel, R., Ribeiro, A., Heilbron, M., Vinagre, R., Duffles, P., Trouw, C.C., Fontainha, M., Kussama, H.H. (2013). A new interpretation for the interference zone between the southern Brasília belt and the central Ribeira belt, SE Brazil. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 48 p 43-57. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2013.07.012>

Trouw, R.A.J., Peternel, R.P.M., Duffles, P., Vinagre, R., Coutinho, G.R., Matos, G.C., Ramos, R. (2014). Geologia e recursos minerais da folha Pindamonhangaba SF.23-Y-B-VII, estados de Minas Gerais e São Paulo. Rio de Janeiro: CPRM, UFRJ, 2014. Escala 1:100.000

Vernon, R.H., Clarke, G.L. (2008). Principles of Metamorphic Petrology. Cambridge University Press, 366p.

Vinagre, R., Trouw, R.A.J., Kussama, H., Peternel, R., Mendes, J.C., Duffles, P. (2016). Superposition of structures in the interference zone between the southern Brasília belt and the central Ribeira belt in the region SW of Itajubá (MG), SE Brazil. Brazilian Journal of Geology, Vol 46(4) p. 547-566. DOI: 10.1590/2317-4889201620160034

Yardley, B.W.D. (1989). An Introduction to Metamorphic Petrology. Longman Scientific & Technical, 248p.

9. Programas e tabelas utilizados

AX62: <https://filedn.com/IU1GlyFhv3UuXg5E9dbnWFF/TJBHpages/ax.html>

MinPlot: <https://geojesse.weebly.com/useful-things.html>

PERPLEX: <https://www.perplex.ethz.ch/>

Triquik: http://www.earth.ox.ac.uk/~davewa/pt/th_tools.html

Classificação de anfíbios: <https://github.com/cageo/Locock-2013/releases>

ANEXOS

Anexo A

Padrões utilizados para comparação na realização das análises de microssonda eletrônica

Olivina:

	CITZA F									
	Copyright,	John T.	Armstrong,	California	Institute	of	Technology			
	JEOL	On-line	type	Implemented	by	Paul	Carpenter	Caltech	1993	
	JEOL	License	of	CITZA F	Version:	3.5				
Measurement	Condition									
WDS elements										
	Element	X-ray	Crystal	CH	Acc.v	Peak Pos.	(nm)	BG_L	BG_U	
1	Si	Ka	TAP	1	15	77.293	0.71254	6.5	2.5	
2	Al	Ka	TAP	1	15	90.649	0.83393	2.85	1.8	
3	Fe	Ka	LIFL	2	15	134.706	0.1936	1.1	1.3	
4	Mn	Ka	LIFL	2	15	146.185	0.21018	0.737	0.9	
5	K	Ka	PETJ	3	15	118.985	0.37414	0.75	0.75	
6	Ca	Ka	PETJ	3	15	107.525	0.33584	2.142	1.924	
7	Cr	Ka	LIFL	4	15	158.849	0.22897	1.5	1.5	

8	Ni	Ka	LIFL	4	15	114.94 3	0.1657 9	3	3
9	Mg	Ka	TAPH	5	15	107.51 2	0.989	2.5	2.3
10	Na	Ka	TAPH	5	15	129.38 1	1.1910 1	3.209	2.791
	Element	Peak	Back	Pksk	Gain	High.V	Base.L	Window.W	Mode
1	Si	10	5.0 (s)	1	16	1636	0.7	9.3 (V)	Dif
2	Al	20	10.0 (s)	1	16	1645	0.7	9.3 (V)	Dif
3	Fe	40	20.0 (s)	1	32	1704	0.7	0 (V)	Int
4	Mn	40	20.0 (s)	1	32	1691	0.7	0 (V)	Int
5	K	15	7.5 (s)	1	8	1660	0.7	0 (V)	Int
6	Ca	20	10.0 (s)	1	8	1660	2	0 (V)	Int
7	Cr	40	20.0 (s)	1	32	1714	0.3	0 (V)	Int
8	Ni	60	30.0 (s)	1	32	1708	0.7	0 (V)	Int
9	Mg	10	5.0 (s)	1	16	1647	0.7	9.3 (V)	Dif
10	Na	20	10.0 (s)	1	16	1646	0.7	9.3 (V)	Dif
Measurement	Order of	WDS							
Order	Channel 1	2	3	4	5				
1	Si_CH 1_T	Fe_CH 2_L	K_CH 3_PE	Cr_Ka _ch	Mg_C H5_T				
2	Al_CH 1_T	Mn_C H2_L	Ca_C H3_P	Ni_CH 4_L	Na_C H5_T				
Calc.	Element	O	(Anion)						

	nts :)						
Standard Data									
	Element	Standard	Mass(%)						
1	SiO2	diopside_%ele	54.8704						
2	Al2O3	anorthite_%ele	36.0337						
3	FeO	fayalite_%ele	67.5403						
4	MnO	fayalite_%ele	2.1434						
5	K2O	Ortoclase_%ele	12.7808						
6	CaO	Wollastonite_%ele	47.8387						
7	Cr2O3	chromite_%ele	60.4931						
8	NiO	glass_rhyolitic #37	0.73						
9	MgO	basalt #8	49.42						
10	Na2O	Albite	11.6735						
Standard Intensity of WDS									
	Element	Curr.(A)	Net(cps)	Bg-(cps)	Bg+(cps)	S.D.(%)	Date		
1	Si	2.00E-08	10852.9	77.5	49.6	0.12	02/09/2019	19:47:31	

2	Al	2.00E-08	6833.5	73.9	52.5	0.15	10/05/2022	14:38:23	
3	Fe	2.00E-08	5741.6	38.4	42.1	0.13	10/05/2022	17:33:25	
4	Mn	2.00E-08	159.2	18.5	17	0.51	10/05/2022	17:33:25	
5	K	2.00E-08	1295	75.2	14.1	0.34	14/09/2022	16:56:49	
6	Ca	2.00E-08	4690.7	21.2	20	0.29	27/10/2021	10:44:35	
7	Cr	2.00E-08	3561.1	16.6	19.3	0.2	24/07/2019	23:42:45	
8	Ni	2.00E-08	61.6	22.9	19.6	1.23	17/05/2019	16:40:50	
9	Mg	2.00E-08	12249.8	124.3	83.4	0.15	04/11/2022	09:04:17	
10	Na	2.00E-08	2375.1	50.6	28.4	0.29	07/10/2021	14:34:19	
Standard Factors									
	Element	f(chi)	lf/lp	abs-el	1/s-el	r-el	c/k-el		
Si	0.7551	0.0021	0.8279	0.9662	1.0153	1.2287			
Al	0.7336	0.0096	0.82	0.9486	1.01	1.2608			
Fe	0.987	0	1.002	0.8795	1.0359	1.0954			
Mn	0.9832	0	1.0002	0.8672	1.0343	1.1146			
K	0.9048	0	0.9436	0.8825	1.0501	1.1435			
Ca	0.9433	0	0.9775	0.913	1.043	1.0742			
Cr	0.9822	0.0172	1.0017	0.8777	1.0384	1.0768			
Ni	0.9891	0.0033	1.0007	0.8074	1.054	1.1705			
Na	0.5165	0.0052	0.6091	0.9569	1.0028	1.7021			
Mg	0.6261	0.0037	0.7144	0.9838	1.0041	1.4118			
UNK No. :	1	2							

3	4	5								
---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--

Piroxênio:

	CITZA F									
	Copyri ght,	John	T.	Armstr ong,	Califor nia	Institut e	of	Technology		
	JEOL	On- line	type	Imple mente d	by	Paul	Carpe nter	Caltec h	1993	
	JEOL	Licens e	of	CITZA F	Versio n:	3.5				
Measu rement	Conditi on									
WDS eleme nts										
	Eleme nt	X-ray	Crystal	CH	Acc.v	Peak Pos.	(nm)	BG_L	BG_U	
1	Si	Ka	TAP	1	15	77.533	0.7125 4	3	2.5	
2	Al	Ka	TAP	1	15	90.649	0.8339 3	2.85	1.8	
3	Fe	Ka	LIFL	2	15	134.70 9	0.1936	1.1	1.3	
4	Mn	Ka	LIFL	2	15	146.22 5	0.2101 8	0.737	0.9	
5	Ca	Ka	PETJ	3	15	106.93 9	0.3358 4	2.142	1.924	
6	K	Ka	PETJ	3	15	119.19 5	0.3741 4	1.589	0.911	
7	Ti	Ka	LIFL	4	15	190.75 6	0.2748 5	1.2	1	
8	Cr	Ka	LIFL	4	15	159.01 6	0.2289 7	1.5	1.5	
9	Na	Ka	TAPH	5	15	129.48	1.1910	3.209	2.791	

						3	1		
10	Mg	Ka	TAPH	5	15	107.52 4	0.989	2.8	2.9
	Element	Peak	Back	Pksk	Gain	High.V	Base.L	Window.W	Mode
1	Si	10	5.0 (s)	1	16	1645	0.7	9.3 (V)	Dif
2	Al	20	10.0 (s)	1	16	1676	0.7	9.3 (V)	Dif
3	Fe	20	10.0 (s)	1	32	1726	0.7	0 (V)	Int
4	Mn	40	20.0 (s)	1	32	1726	0.7	0 (V)	Int
5	Ca	20	10.0 (s)	1	8	1624	2	0 (V)	Int
6	K	20	10.0 (s)	1	8	1660	0.7	0 (V)	Int
7	Ti	60	30.0 (s)	1	32	1708	0.7	0 (V)	Int
8	Cr	60	30.0 (s)	1	32	1708	0.7	0 (V)	Int
9	Na	10	5.0 (s)	1	16	1664	0.7	9.3 (V)	Dif
10	Mg	20	10.0 (s)	1	16	1654	0.7	9.3 (V)	Dif
Measurement	Order	of	WDS						
Order	Channel 1	2	3	4	5				
1	Si_CH_1_T	Fe_CH_2_L	Ca_C_H3_P	Ti_CH_4_L	Na_C_H5_T				
2	Al_CH_1_T	Mn_C_H2_L	K_CH_3_PE	Cr_Ka_ch	Mg_C_H5_T				
Calc.	Elements :	O	(Anion)						

Standard Data									
	Element	Standard	Mass(%)						
1	SiO ₂	diopsid e_%ele	54.8704						
2	Al ₂ O ₃	anorthite_%ele	36.0337						
3	FeO	fayalite _%ele	67.5403						
4	MnO	fayalite _%ele	2.1434						
5	CaO	Wollastonite _%ele	47.8387						
6	K ₂ O	Ortocl ase_% ele	12.7808						
7	TiO ₂	Rutile_ %ele	99.9834						
8	Cr ₂ O ₃	chromi te_%ele	60.4931						
9	Na ₂ O	Albite_ %ele	11.7948						
10	MgO	diopsid e_%ele	18.3061						
Standard Intensity of WDS									
	Element	Curr.(A)	Net(cps)	Bg- (cps)	Bg+(cps)	S.D.(%)	Date		
1	Si	2.00E-08	10607.3	109.2	46.4	0.17	04/11/2022	16:15:07	
2	Al	2.00E-08	6833.5	73.9	52.5	0.15	10/05/2022	14:38:23	
3	Fe	2.01E-	5757.7	36.6	40.1	0.27	25/10/	14:49:	

		08					2021	20	
4	Mn	2.01E-08	158.8	19.1	16.5	1.24	25/10/2021	14:46:35	
5	Ca	2.00E-08	4876.4	16	23.8	0.17	11/09/2019	16:45:29	
6	K	2.00E-08	1496.8	13.2	13.6	0.31	17/05/2019	15:44:00	
7	Ti	2.00E-08	3526.6	58.3	28.7	0.31	15/05/2019	22:14:35	
8	Cr	2.00E-08	3533.1	16.3	19.8	0.19	02/04/2019	14:41:21	
9	Na	2.00E-08	2453.5	51	26.1	0.24	15/05/2019	22:19:31	
10	Mg	2.00E-08	4470.8	69.8	48.2	0.18	04/11/2022	16:15:07	
Standard Factors									
	Element	f(chi)	lf/lp	abs-el	1/s-el	r-el	c/k-el		
Si	0.7551	0.0021	0.8279	0.9662	1.0153	1.2287			
Al	0.7336	0.0096	0.82	0.9486	1.01	1.2608			
Fe	0.987	0	1.002	0.8795	1.0359	1.0954			
Mn	0.9832	0	1.0002	0.8672	1.0343	1.1146			
Ca	0.9433	0	0.9775	0.913	1.043	1.0742			
K	0.9048	0	0.9436	0.8825	1.0501	1.1435			
Ti	0.9787	0	1.0047	0.8888	1.0359	1.0811			
Cr	0.9822	0.0172	1.0017	0.8777	1.0384	1.0768			
Na	0.5166	0.0052	0.6092	0.957	1.0028	1.7017			
Mg	0.6149	0.0066	0.7016	0.9861	1.0001	1.4357			
UNK No. :	1 4	2 5	3 6						
7	8	9	10						

Anfibólio:

	CITZA F								
	Copyright,	John	T.	Armstrong,	California	Institute	of	Technology	
	JEOL	On-line	type	Implemented	by	Paul	Carpenter	Caltech	1993
	JEOL	License	of	CITZA F	Versio n:	3.5			
Measu rement	Condition								
WDS eleme nts									
	Element	X-ray	Crystal	CH	Acc.v	Peak Pos.	(nm)	BG_L	BG_U
1	Si	Ka	TAP	1	15	77.288	0.71254	6.5	2.5
2	Al	Ka	TAP	1	15	90.483	0.83393	4.9	3.5
3	Fe	Ka	LIFL	2	15	134.709	0.1936	1.1	1.3
4	Mn	Ka	LIFL	2	15	146.225	0.21018	0.737	0.9
5	Cl	Ka	PETJ	3	15	150.825	0.47278	2.5	2.5
6	Ca	Ka	PETJ	3	15	106.725	0.33584	2.142	1.924
7	K	Ka	PETJ	3	15	119.195	0.37414	1.589	0.911
8	Ti	Ka	LIFL	4	15	190.749	0.27485	1.2	1
9	Cr	Ka	LIFL	4	15	158.849	0.22897	1.5	1.5

10	Zn	Ka	LIFL	4	15	99.84	0.1435 2	2.5	2
11	F	Ka	TAPH	5	15	199.34 4	1.832	3.242	1.744
12	Na	Ka	TAPH	5	15	129.38 1	1.1910 1	3.209	2.791
13	Mg	Ka	TAPH	5	15	107.43 4	0.989	2.8	2.9
	Element	Peak	Back	Pksk	Gain	High.V	Base.L	Window.W	Mode
1	Si	10	5.0 (s)	1	16	1648	0.7	9.3 (V)	Dif
2	Al	20	10.0 (s)	1	16	1676	0.7	9.3 (V)	Dif
3	Fe	10	5.0 (s)	1	32	1704	0.7	0 (V)	Int
4	Mn	40	20.0 (s)	1	32	1691	0.7	0 (V)	Int
5	Cl	10	5.0 (s)	1	8	1660	0.7	0 (V)	Int
6	Ca	20	10.0 (s)	1	8	1624	2	0 (V)	Int
7	K	10	5.0 (s)	1	8	1618	2	0 (V)	Int
8	Ti	10	5.0 (s)	1	32	1706	0.3	0 (V)	Int
9	Cr	20	10.0 (s)	1	32	1714	0.3	0 (V)	Int
10	Zn	40	20.0 (s)	1	32	1708	0.7	0 (V)	Int
11	F	10	5.0 (s)	1	16	1664	0.7	9.3 (V)	Dif
12	Na	15	7.5 (s)	1	16	1646	0.7	9.3 (V)	Dif
13	Mg	20	10.0 (s)	1	16	1654	0.7	9.3 (V)	Dif
Measurement	Order of	WDS							
Order	Channel 1	2	3	4	5				
1	Si_CH	Fe_CH	Cl_CH	Ti_CH	F_CH5				

	1_T	2_L	3_P	4_L	_TA				
2	Al_CH 1_T	Mn_C H2_L	Ca_C H3_P	Cr_Ka _ch	Na_C H5_T				
3	0	0	K_CH 3_PE	Zn_CH 4_L	Mg_C H5_T				
Calc.	Elements :	O	(Anion)						
Standard Data									
	Element	Standard	Mass(%)						
1	SiO2	horneb lende_#28_%el	41.457 6						
2	Al2O3	horneb lende_#28_%el	15.456 5						
3	FeO	fayalite _%ele	67.540 3						
4	MnO	fayalite _%ele	2.1434						
5	Cl	Sodalit e%ele	7.2						
6	CaO	Wollas tonite_ %ele	47.838 7						
7	K2O	Ortocl ase_%el e	12.780 8						
8	TiO2	Rutile_ %ele	99.983 4						
9	Cr2O3	chromi te_%el e	60.493 1						
10	ZnO	Willem ite_%e	66.295 9						

		le							
11	F	fluorapatite%ele	3.53						
12	Na ₂ O	Albite	11.6735						
13	MgO	diopside_%el e	18.3061						
Standard Intensity of WDS									
	Element	Curr.(A)	Net(cps)	Bg-(cps)	Bg+(cps)	S.D.(%)	Date		
1	Si	2.00E-08	7555.1	62.6	46.8	0.2	13/11/2019	17:16:28	
2	Al	2.00E-08	2556.3	38	28.3	0.34	13/11/2019	17:16:28	
3	Fe	2.01E-08	5757.7	36.6	40.1	0.27	25/10/2021	14:49:20	
4	Mn	2.01E-08	158.8	19.1	16.5	1.24	25/10/2021	14:46:35	
5	Cl	2.00E-08	447.3	4.1	3.8	0.53	17/05/2019	15:34:15	
6	Ca	2.00E-08	4624.7	17	17	0.18	17/10/2022	17:42:51	
7	K	2.00E-08	1496.8	13.2	13.6	0.31	17/05/2019	15:44:00	
8	Ti	2.00E-08	3483.5	61.9	28.8	0.31	11/09/2019	16:13:36	
9	Cr	2.00E-08	3561.1	16.6	19.3	0.2	24/07/2019	23:42:45	
10	Zn	2.00E-08	4729	62	61.7	0.15	07/10/2021	09:11:18	
11	F	2.00E-08	83.9	7.1	7.7	1.42	12/02/2020	12:22:28	
12	Na	2.00E-08	2375.1	50.6	28.4	0.29	07/10/2021	14:34:19	
13	Mg	2.00E-	4539.6	67	47.5	0.3	27/10/	10:33:	

		08					2021	39	
Standard Factors									
	Element	f(chi)	If/Ip	abs-el	1/s-el	r-el	c/k-el		
Si	0.6975	0.001	0.7647	0.9798	1.0123	1.317			
Al	0.6403	0.0082	0.7157	0.9612	1.0047	1.4349			
Fe	0.987	0	1.002	0.8795	1.0359	1.0954			
Mn	0.9832	0	1.0002	0.8672	1.0343	1.1146			
Cl	0.8301	0	0.8782	0.8936	1.0432	1.2215			
Ca	0.9433	0	0.9775	0.913	1.043	1.0742			
K	0.9048	0	0.9436	0.8825	1.0501	1.1435			
Ti	0.9787	0	1.0047	0.8888	1.0359	1.0811			
Cr	0.9822	0.0172	1.0017	0.8777	1.0384	1.0768			
Zn	0.9919	0	1.0007	0.8676	1.027	1.1215			
F	0.1554	0.0003	0.2008	1.0324	0.967	4.9877			
Na	0.5165	0.0052	0.6091	0.9569	1.0028	1.7021			
Mg	0.6149	0.0066	0.7016	0.9861	1.0001	1.4357			
UNK No. :	1 4	2 5	3 6						
	7 11	8 10							
12									

Carbonatos:

	CITZA F								
	Copyright,	John	T.	Armstrong,	California	Institute	of	Technology	
	JEOL	On-line	type	Implemented	by	Paul	Carpenter	Caltech	1993
	JEOL	License	of	CITZA F	Version:	3.5			
Measurement	Condition								
WDS elements									
	Element	X-ray	Crystal	CH	Acc.v	Peak Pos.	(nm)	BG_L	BG_U
1	Si	Ka	TAP	1	15	77.365	0.71254	6.5	2.5
2	Al	Ka	TAP	1	15	90.496	0.83393	2.85	1.45
3	Mn	Ka	LIFL	2	15	145.55	0.21018	1.177	0.785
4	P	Ka	PETJ	3	15	196.58	0.6157	2.322	2.423
5	Ca	Ka	PETJ	3	15	106.72	0.33584	1.9	1
6	Sr	La	PETJ	3	15	219.27	0.68628	2.9	2.4
7	Fe	Ka	LIFL	4	15	134.27	0.1936	1.1	1.5
8	Ba	La	LIFL	4	15	192.623	0.27759	1	1.45
9	Mg	Ka	TAPH	5	15	107.464	0.989	2.7	2.8

	Element	Peak	Back	Pksk	Gain	High.V	Base.L	Window.W	Mode
1	Si	10	5.0 (s)	1	16	1648	0.7	9.3 (V)	Dif
2	Al	15	7.5 (s)	1	16	1645	0.7	9.3 (V)	Dif
3	Mn	60	30.0 (s)	1	32	1691	0.7	0 (V)	Int
4	P	10	5.0 (s)	1	8	1660	0.7	0 (V)	Int
5	Ca	10	5.0 (s)	1	8	1660	0.7	0 (V)	Int
6	Sr	50	25.0 (s)	1	8	1660	0.7	0 (V)	Int
7	Fe	40	20.0 (s)	1	32	1708	0.7	0 (V)	Int
8	Ba	30	15.0 (s)	1	32	1708	0.7	0 (V)	Int
9	Mg	30	15.0 (s)	1	16	1664	0.7	9.3 (V)	Dif
Measurement	Order of		WDS						
Order	Channel 1	2	3	4	5				
1	Si_CH_1_T	Mn_C_H2_L	P_CH_3_PE	Fe_CH_4_L	Mg_C_H5_T				
2	Al_CH_1_T	0	Ca_C_H3_P	Ba_C_H4_L	0				
3	0	0	Sr_CH_3_P	0	0				
Calc.	Elements :	O	(Anion)						
Standard Data									
	Element	Standard	Mass(%)						
1	SiO2	diopsid	54.870						

		e_%ele	4						
2	Al2O3	anorthite_%ele	36.0337						
3	MnO	fayalite_%ele	2.1434						
4	P2O5	Fluorapatite%ele	41.3171						
5	CaO	calcite	56.1						
6	SrO	strontianite	67.67						
7	FeO	fayalite_%ele	67.5403						
8	BaO	benitoite_%ele	37.0521						
9	MgO	dolomite	22.04						
Standard Intensity of WDS									
	Element	Curr.(A)	Net(cps)	Bg-(cps)	Bg+(cps)	S.D.(%)	Date		
1	Si	2.00E-08	10490	77.2	58.6	0.12	13/04/2022	08:11:35	
2	Al	2.00E-08	7224.1	91.2	59.3	0.13	17/05/2019	16:25:54	
3	Mn	2.00E-08	166.4	17.3	17.6	0.55	25/07/2019	19:12:29	
4	P	2.00E-08	1372.9	6.5	5.2	0.32	10/06/2022	08:46:38	
5	Ca	2.00E-08	5581.8	17.6	27	0.15	18/10/2022	10:00:50	
6	Sr	2.00E-08	1348.2	11.5	6.7	0.39	12/02/2020	11:56:27	
7	Fe	2.00E-08	5372.1	35.9	34.7	0.18	25/07/2019	19:12:29	

8	Ba	2.00E-08	666	25.9	13.1	0.73	25/07/2019	18:28:43	
9	Mg	2.00E-08	4921.9	62.6	39.3	0.23	24/07/2019	20:27:42	
Standard Factors									
	Element	f(chi)	If/Ip	abs-el	1/s-el	r-el	c/k-el		
Si	0.7551	0.0021	0.8279	0.9662	1.0153	1.2287			
Al	0.7336	0.0096	0.82	0.9486	1.01	1.2608			
Mn	0.9832	0	1.0002	0.8672	1.0343	1.1146			
P	0.8422	0.0098	0.9094	0.9534	1.0102	1.1307			
Ca	0.9707	0	1.006	0.8959	1.05	1.0568			
Sr	0.7979	0.0001	1.0102	0.7904	1.1286	1.1095			
Fe	0.987	0	1.002	0.8795	1.0359	1.0954			
Ba	0.9505	0	1.0388	0.6621	1.1865	1.2254			
Mg	0.5857	0.0007	0.6683	0.962	1.0106	1.538			
UNK No. :	1 4	2 5	3 6						
	7 9	8							

Epidoto:

CITZA F									
Copyright,	John	T.	Armstrong,	California	Institute	of	Technology		
JEOL	On-line	type	Implemented	by	Paul	Carpenter	Caltech	1993	
JEOL	License	of	CITZA F	Version:	3.5				

Measurement	Condition								
WDS elements									
	Element	X-ray	Crystal	CH	Acc.v	Peak Pos.	(nm)	BG_L	BG_U
1	Si	Ka	TAP	1	15	77.391	0.71254	6.5	2.5
2	Al	Ka	TAP	1	15	90.649	0.83393	2.85	1.8
3	Y	La	TAP	1	15	69.988	0.64488	2.16	1
4	Fe	Ka	LIFL	2	15	134.706	0.1936	1.1	1.3
5	Mn	Ka	LIFL	2	15	146.185	0.21018	0.737	0.9
6	La	La	LIFL	2	15	185.345	0.26657	2.5	2.5
7	Ca	Ka	PETJ	3	15	106.725	0.33584	2.142	1.924
8	Ti	Ka	LIFL	4	15	190.749	0.27485	1.2	1
9	Ce	La	LIFL	4	15	177.862	0.25615	2.3	2
10	Mg	Ka	TAPH	5	15	107.434	0.989	2.8	2.9
	Element	Peak	Back	Pksk	Gain	High.V	Base.L	Window.W	Mode
1	Si	10	5.0 (s)	1	16	1648	0.7	9.3 (V)	Dif
2	Al	15	7.5 (s)	1	16	1645	0.7	9.3 (V)	Dif
3	Y	30	15.0 (s)	1	16	1676	0.7	9.3 (V)	Dif
4	Fe	10	5.0 (s)	1	32	1704	0.7	0 (V)	Int
5	Mn	20	10.0 (s)	1	32	1691	0.7	0 (V)	Int
6	La	30	15.0	1	32	1726	0.7	0 (V)	Int

			(s)							
7	Ca	15	7.5 (s)	1	8	1624	2	0 (V)	Int	
8	Ti	10	5.0 (s)	1	32	1706	0.3	0 (V)	Int	
9	Ce	50	25.0 (s)	1	32	1708	0.7	0 (V)	Int	
10	Mg	10	5.0 (s)	1	16	1654	0.7	9.3 (V)	Dif	
Measur ement	Order	of	WDS							
Order	Chann el 1	2	3	4	5					
1	Si_CH 1_T	Fe_CH 2_L	Ca_C H3_P	Ti_CH 4_L	Mg_C H5_T					
2	Al_CH 1_T	Mn_C H2_L	0	Ce_C H4_L	0					
3	Y_CH 1_TA	La_CH 2_L	0	0	0					
Calc.	Eleme nts :	O	(Anion)							
Standar d Data										
	Eleme nt	Standar d	Mass(%)							
1	SiO2	horneb lende_#28_%el	41.457 6							
2	Al2O3	anorthite_%el e	36.033 7							
3	Y2O3	yttrium- phosphate	61.401 4							
4	Fe2O3	fayalite_-%ele	75.060 4							

5	MnO	fayalite _%ele	2.1434						
6	La2O3	lantha num- phosp hate	69.651						
7	CaO	Wollas tonite_ %ele	47.838 7						
8	TiO2	Rutile_ %ele	99.983 4						
9	Ce2O3	cerium - phosp hate	69.808 4						
10	MgO	diopsid e_%el e	18.306 1						
Standard Intensity of WDS									
	Eleme nt	Curr.(A)	Net(cp s)	Bg- (cps)	Bg+(cp s)	S.D.(%)	Date		
1	Si	2.00E- 08	7370.6	64.6	49.6	0.14	10/05/ 2022	14:49: 27	
2	Al	2.00E- 08	6833.5	73.9	52.5	0.15	10/05/ 2022	14:38: 23	
3	Y	2.00E- 08	7060.9	939.5	323.9	0.08	13/04/ 2022	14:39: 45	
4	Fe	2.00E- 08	5741.6	38.4	42.1	0.13	10/05/ 2022	17:33: 25	
5	Mn	2.00E- 08	159.2	18.5	17	0.51	10/05/ 2022	17:33: 25	
6	La	2.00E- 08	1202.6	13.9	13.1	0.49	14/08/ 2018	13:17: 42	
7	Ca	2.00E- 08	4624.7	17	17	0.18	17/10/ 2022	17:42: 51	
8	Ti	2.00E- 08	3483.5	61.9	28.8	0.31	11/09/ 2019	16:13: 36	
9	Ce	2.00E- 08	1591.3	16.3	18.5	0.4	14/08/ 2018	14:40: 35	

10	Mg	2.00E-08	4539.6	67	47.5	0.3	27/10/2021	10:33:39	
Standard Factors									
	Element	f(chi)	If/Ip	abs-el	1/s-el	r-el	c/k-el		
Si	0.6975	0.001	0.7647	0.9798	1.0123	1.317			
Al	0.7336	0.0096	0.82	0.9486	1.01	1.2608			
Fe	0.987	0	1.002	0.8795	1.0359	1.0954			
Mn	0.9832	0	1.0002	0.8672	1.0343	1.1146			
Ca	0.9433	0	0.9775	0.913	1.043	1.0742			
Ti	0.9787	0	1.0047	0.8888	1.0359	1.0811			
Mg	0.6149	0.0066	0.7016	0.9861	1.0001	1.4357			
Ce	0.9453	0	1.0238	0.7573	1.129	1.1424			
La	0.9414	0	1.0241	0.7543	1.1312	1.1444			
Y	0.8261	0	1.0318	0.7812	1.1424	1.0861			
UNK No. :	1	2	3						
	4	5	6						
	7	8	9 10						
		11							
	12	13	14						
		15							

Anexo B

Resultados da microssonda eletrônica, agrupados por mineral

Olivina:

Sample	A/1/01	A/1/02	A/1/03	A/1/04	A/1/05	A/4/01	A/4/02	A/4/03
Min	ol							
SiO ₂	27.28	41.02	41.39	41.24	40.35	43.87	41.71	40.78
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	0	0.01	0.01	0	0.04	0.01	0.01	0
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0.01	0.02
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05	0.04
MnO	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0
MgO	41.91	57.87	57.9	57.58	56.18	53.12	57.64	58.31
CaO	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.2	0.01	0.02
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0
K ₂ O	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0
	69.22	98.94	99.35	98.87	96.65	97.27	99.44	99.17

Totals								
Oxygen s	4	4	4	4	4	4	4	4
Si	0.932	0.975	0.979	0.98	0.981	1.05	0.985	0.968
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0	0	0	0	0.001	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	2.135	2.049	2.041	2.039	2.035	1.894	2.028	2.062
Ca	0.001	0.001	0	0	0.001	0.005	0	0
Na	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	3.068	3.025	3.021	3.02	3.019	2.951	3.015	3.032
Sample	A/4/04	A/4/05	A/12/01	A/12/02	A/12/03	A/12/04	A/12/05	A/15/01
Min								
	ol	ol	ol	ol	ol	ol	ol	ol
SiO2	41.45	40.75	41.11	41.13	41.63	41.27	41.91	38.15
TiO2	0	0	0	0	0	0	0	0
Al2O3	0	0.01	0.01	0	0.02	0	0.01	3.5
Cr2O3	0	0	0.01	0	0	0.01	0	0

Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.25
MnO	0	0	0	0	0.02	0.02	0	0
MgO	57.29	57.64	56.46	57.48	57.48	57.75	57.41	41.42
CaO	0.02	0.17	0.14	0.02	0	0.04	0.08	0.7
Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0.01
K2O	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0.02	0.02
Totals	98.83	98.62	97.78	98.69	99.21	99.16	99.49	84.06
Oxygen s	4	4	4	4	4	4	4	4
Si	0.985	0.972	0.987	0.979	0.985	0.978	0.989	1.051
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0	0	0	0	0	0	0	0.114
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	2.029	2.05	2.02	2.04	2.027	2.04	2.019	1.7
Ca	0.001	0.004	0.004	0	0	0.001	0.002	0.021
Na	0	0	0	0	0	0	0	0.001
K	0	0	0	0	0	0	0	0.001
	3.015	3.028	3.013	3.021	3.015	3.022	3.011	2.893

Sum								
Sample	A/15/02	A/15/03	A/15/04	A/15/05	JC/2/1	JC/2/2	JC/2/3	JC/2/4
Min	ol	ol	ol	ol	ol	ol	ol	ol
SiO ₂	41.2	41.54	41.27	40.27	38.56	42.4	42.49	41.92
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	0	0.02	0	0.49	0	0.02	0	0
Cr ₂ O ₃	0.01	0	0	0	0	0.02	0	0
Fe ₂ O ₃	0	0.01	0.01	0.01	0.06	0.06	0.06	0.06
FeO	0.07	0.09	0.09	0.21	0.95	1.05	0.96	1
MnO	0	0	0	0	0.01	0.03	0.02	0.01
MgO	57.86	57.64	57.76	56.92	57.02	56.73	56.62	57.15
CaO	0.02	0.01	0.03	0.18	0.05	0.01	0.02	0
Na ₂ O	0.01	0	0	0	0	0	0	0
K ₂ O	0	0.02	0	0	0	0.01	0	0.01
Totals	99.18	99.32	99.16	98.09	96.65	100.32	100.17	100.15
Oxygen s	4	4	4	4	4	4	4	4

Si	0.977	0.983	0.978	0.967	0.946	0.995	0.998	0.987
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0	0.001	0	0.014	0	0.001	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001
Fe2	0.001	0.002	0.002	0.004	0.02	0.021	0.019	0.02
Mn	0	0	0	0	0	0.001	0	0
Mg	2.044	2.032	2.041	2.036	2.085	1.985	1.982	2.005
Ca	0.001	0	0.001	0.005	0.001	0	0.001	0
Na	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0.001	0	0	0	0	0	0
Sum	3.023	3.017	3.022	3.026	3.053	3.004	3.001	3.013
Sample	JC/2/5	JC/5/1	JC/5/2	JC/5/3	JC/5/4	JC/5/5	JC/12/1	JC/12/2
Min	ol	ol						
SiO ₂	38.11	38.95	42.14	41.96	41.62	38.12	40.95	42.05
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0.02	0
Cr ₂ O ₃	0	0	0.02	0.01	0	0.01	0	0.01
Fe ₂ O ₃	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05
FeO	0.87	0.92	1.07	0.97	1.04	0.85	0.86	0.77
MnO	0.01	0	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01

MgO	57.58	57.2	56.75	57	56.98	57.73	58.64	57.29
CaO	0.03	0.04	0.01	0.02	0.01	0.03	0.08	0.04
Na ₂ O	0	0.01	0	0	0.02	0	0.01	0
K ₂ O	0	0.02	0.01	0	0	0.01	0.01	0
Totals	96.66	97.2	100.11	100.03	99.75	96.82	100.64	100.21
Oxygen s	4	4	4	4	4	4	4	4
Si	0.936	0.95	0.992	0.989	0.984	0.935	0.962	0.988
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Fe2	0.018	0.019	0.021	0.019	0.021	0.017	0.017	0.015
Mn	0	0	0	0	0	0	0.001	0
Mg	2.108	2.078	1.991	2.001	2.008	2.11	2.054	2.006
Ca	0.001	0.001	0	0	0	0.001	0.002	0.001
Na	0	0	0	0	0.001	0	0	0
K	0	0.001	0	0	0	0	0	0
Sum	3.063	3.05	3.007	3.011	3.016	3.065	3.037	3.011
Sample	JC/12/3	JC/15/1	JC/15/2	JC/15/3	JC/13/1	JC/13/2	JC/13/3	B/2/1
Min								

	ol	ol	ol	ol	ol	ol	ol	ol
SiO ₂	42.37	37.85	41.77	41.9	41.63	41.9	41.98	42.34
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	0.01	0.01	0.01	0	0.02	0	0	0
Cr ₂ O ₃	0	0.01	0	0	0	0	0.02	0
Fe ₂ O ₃	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0
FeO	0.78	0.63	0.81	0.74	0.88	0.84	0.85	0.02
MnO	0.02	0.01	0.02	0.03	0	0.02	0.02	0
MgO	56.89	57.08	57.08	57.3	56.56	57.53	57.73	57.48
CaO	0.01	0.04	0.03	0.04	0.06	0.01	0.01	0.09
Na ₂ O	0	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0
K ₂ O	0.01	0	0	0	0	0	0.02	0.02
Totals	100.14	95.68	99.77	100.06	99.21	100.35	100.69	99.95
Oxygen s	4	4	4	4	4	4	4	4
Si	0.995	0.938	0.986	0.986	0.989	0.984	0.983	0.993
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0	0	0	0	0.001	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0

Fe3	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0
Fe2	0.015	0.013	0.016	0.015	0.017	0.016	0.017	0
Mn	0	0	0	0.001	0	0	0	0
Mg	1.992	2.108	2.009	2.01	2.002	2.014	2.014	2.01
Ca	0	0.001	0.001	0.001	0.002	0	0	0.002
Na	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0.001	0.001
Sum	3.004	3.062	3.013	3.013	3.011	3.016	3.017	3.007
Sample	B/2/2	B/3/1	B/3/2	B/3/3	B/3/4	B/13/1	B/13/2	B/13/3
Min								
	ol	ol	ol	ol	ol	ol	ol	ol
SiO ₂	42.7	40.4	42.06	40.82	42.65	42.4	42.38	42.15
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0	0	0
Cr ₂ O ₃	0	0	0.02	0	0.01	0.01	0	0
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0	0.02
MnO	0	0	0	0	0.01	0	0.01	0
MgO	57.41	57.69	57.59	57.75	57.91	57.02	57.69	57.43
CaO	0.04	0.08	0.03	0.04	0.1	0.05	0.05	0.12
	0.01	0	0	0	0.01	0	0.01	0

Na ₂ O								
K ₂ O	0.01	0	0	0.02	0	0	0.01	0.01
Totals	100.2	98.2	99.73	98.66	100.71	99.51	100.16	99.73
Oxygen s	4	4	4	4	4	4	4	4
Si	0.999	0.968	0.989	0.973	0.993	0.998	0.992	0.992
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₂	0	0	0	0	0	0.001	0	0
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	2.001	2.061	2.019	2.052	2.01	2.001	2.013	2.013
Ca	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003
Na	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	3.002	3.032	3.01	3.027	3.007	3.001	3.008	3.009
Sample	B/26/1	B/26/2	B/26/3					
Min								
	ol	ol	ol					
SiO ₂	42.55	42.41	42.33					

TiO ₂	0	0	0						
Al ₂ O ₃	0	0	0						
Cr ₂ O ₃	0	0	0						
Fe ₂ O ₃	0	0	0						
FeO	0.02	0	0.01						
MnO	0	0.01	0.02						
MgO	57.52	57.64	57.88						
CaO	0.11	0.06	0.14						
Na ₂ O	0	0	0						
K ₂ O	0.01	0.02	0						
Totals	100.22	100.14	100.39						
Oxygen s	4	4	4						
Si	0.995	0.993	0.99						
Ti	0	0	0						
Al	0	0	0						
Cr	0	0	0						
Fe ₃	0	0	0						
Fe ₂	0	0	0						
Mn	0	0	0						
Mg	2.005	2.012	2.017						

Ca	0.003	0.002	0.004					
Na	0	0	0					
K	0	0.001	0					
Sum	3.005	3.007	3.01					

Piroxênio:

Sample	K/2/1	K/2/2	K/2/3	K/6/1	K/6/2	K/6/3	K/6/4	K/6/5
Min								
	cpx							
SiO ₂	55.39	52.94	52.75	54.48	52.66	53.22	52.86	52.43
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	0.05	0.38	0.44	0.02	0.51	0.35	0.52	0.17
Cr ₂ O ₃	0.01	0.02	0	0.01	0	0	0	0
Fe ₂ O ₃	0	1.33	2.08	0	1.95	1.48	2.3	1.88
FeO	1.12	3.04	1.58	0.76	1.92	1.65	0.11	0.09
MnO	0.06	0.17	0.18	0.05	0.16	0.1	0.12	0.06
MgO	18.12	15.49	16.07	17.52	15.82	16.36	17.05	17.81
CaO	24.58	24.88	24.99	25.29	24.99	25.05	25.17	25.1
Na ₂ O	0.01	0.13	0.14	0.01	0.14	0.13	0.12	0.05
K ₂ O	0	0	0.01	0	0.01	0.01	0.02	0.01
Totals	99.34	98.38	98.23	98.15	98.16	98.35	98.27	97.61
Oxygen s	6	6	6	6	6	6	6	6

Si	2.012	1.977	1.966	2.006	1.967	1.977	1.959	1.955
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0.002	0.017	0.019	0.001	0.022	0.015	0.023	0.007
Cr	0	0.001	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0.037	0.058	0	0.055	0.041	0.064	0.053
Fe2	0.034	0.095	0.049	0.024	0.06	0.051	0.003	0.003
Mn	0.002	0.005	0.006	0.002	0.005	0.003	0.004	0.002
Mg	0.981	0.862	0.893	0.962	0.88	0.906	0.941	0.99
Ca	0.956	0.996	0.998	0.998	1	0.997	0.999	1.003
Na	0.001	0.01	0.01	0.001	0.01	0.01	0.008	0.004
K	0	0	0	0	0.001	0	0.001	0.001
Sum	3.988	4	4	3.993	4	4	4.003	4.017
Sample	K/14/1	K/14/2	K/14/3	K/14/4	K/14/5	K/14/6	K/26/1	K/26/2
Min	cpx							
SiO2	53.57	52.95	52.79	53.73	53.22	49.07	53.45	52.99
TiO2	0	0	0	0	0	0	0	0
Al2O3	0.04	0.38	0.38	0.11	0.36	0.03	0.03	0.34
Cr2O3	0.02	0	0.02	0.01	0.02	0.01	0	0.02
Fe2O3	1.04	1.16	1.86	0.78	2.15	0.89	0.84	1.69
FeO	0.08	2.68	1.84	0.04	0.36	0.04	0.04	1.41
	0.05	0.21	0.18	0.03	0.1	0.06	0.08	0.12

MnO								
MgO	17.59	15.78	15.96	18.13	17.26	20.1	18.4	16.38
CaO	25.37	24.74	25.02	25.34	24.96	24.65	25.13	25.01
Na ₂ O	0.01	0.13	0.13	0	0.09	0	0.01	0.13
K ₂ O	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0
Totals	97.77	98.04	98.18	98.16	98.52	94.85	97.97	98.09
Oxygen S	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1.985	1.98	1.97	1.981	1.965	1.891	1.975	1.973
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0.002	0.017	0.017	0.005	0.016	0.001	0.001	0.015
Cr	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0.001
Fe ₃	0.029	0.033	0.052	0.022	0.06	0.026	0.023	0.047
Fe ₂	0.002	0.084	0.057	0.001	0.011	0.001	0.001	0.044
Mn	0.002	0.007	0.006	0.001	0.003	0.002	0.002	0.004
Mg	0.971	0.879	0.888	0.996	0.95	1.155	1.013	0.909
Ca	1.007	0.991	1	1.001	0.988	1.018	0.995	0.998
Na	0.001	0.009	0.009	0	0.006	0	0	0.009
K	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	4	4	4	4.006	4	4.095	4.013	4
Sample	K/26/3	K/26/4	K/26/5	K/26/6	K/9/1	K/9/2	K/9/3	K/9/4

Min	cpx							
SiO ₂	52.48	52.26	52.48	52.03	54.45	54.52	53.7	54.44
TiO ₂	0	0	0	0	0.01	0	0.01	0
Al ₂ O ₃	0.35	0.32	0.4	0.35	0.11	0.02	0.44	0.03
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0.01	0
Fe ₂ O ₃	1.91	2.15	2.58	1.93	0	0	0	0
FeO	2.15	1.87	0.44	0.09	1.67	1.2	3.54	1.17
MnO	0.16	0.16	0.11	0.1	0.09	0.08	0.17	0.07
MgO	15.73	15.94	16.57	17.81	17.75	18.37	16.33	18.41
CaO	24.76	24.61	25.01	25.01	23.98	24.07	23.94	24.07
Na ₂ O	0.15	0.11	0.14	0.04	0.02	0	0.1	0.01
K ₂ O	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01
Totals	97.7	97.42	97.72	97.37	98.09	98.26	98.25	98.21
Oxygen	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1.971	1.967	1.96	1.946	2.007	2.003	1.996	2.001
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0.016	0.014	0.018	0.015	0.005	0.001	0.019	0.001

Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0.054	0.061	0.072	0.054	0	0	0	0
Fe2	0.067	0.059	0.014	0.003	0.051	0.037	0.11	0.036
Mn	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003	0.002	0.005	0.002
Mg	0.88	0.894	0.922	0.993	0.975	1.006	0.905	1.009
Ca	0.996	0.992	1.001	1.002	0.947	0.948	0.954	0.948
Na	0.011	0.008	0.01	0.003	0.002	0	0.007	0.001
K	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	4	4	4	4.021	3.991	3.997	3.997	3.999
Sample	K/9/5	K/9/6	K/25/1	K/25/2	K/25/3	K/25/4	K/25/5	K/18/1
Min								
	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx
SiO ₂	52.98	42.5	53.82	53.52	53.84	54.28	54.63	54.48
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0.01	0
Al ₂ O ₃	0.46	1.75	0.02	0.39	0.39	0.39	0.02	0.03
Cr ₂ O ₃	0	0.03	0	0	0.01	0.01	0	0
Fe ₂ O ₃	1	1.36	1	0.18	0	0	0	0
FeO	1.97	0.06	0.05	3	2.74	2.95	0.96	0.82
MnO	0.14	0.03	0.09	0.11	0.11	0.12	0.07	0.07
MgO	17.09	19.97	18.67	16.71	16.85	16.56	18.16	18.52
CaO	23.61	19.48	24.23	23.85	23.76	24.01	24.02	24.09

Na2O	0.11	0.02	0	0.12	0.14	0.14	0	0.01
K2O	0	0.01	0	0	0.01	0	0	0
Totals	97.37	85.22	97.88	97.88	97.85	98.45	97.87	98.02
Oxygen S	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1.98	1.816	1.985	1.993	2.001	2.006	2.011	2.003
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0.02	0.088	0.001	0.017	0.017	0.017	0.001	0.001
Cr	0	0.001	0	0	0	0	0	0
Fe3	0.028	0.044	0.028	0.005	0	0	0	0
Fe2	0.062	0.002	0.001	0.093	0.085	0.091	0.029	0.025
Mn	0.004	0.001	0.003	0.004	0.004	0.004	0.002	0.002
Mg	0.952	1.272	1.026	0.927	0.933	0.912	0.996	1.015
Ca	0.945	0.892	0.957	0.952	0.946	0.951	0.948	0.949
Na	0.008	0.002	0	0.009	0.01	0.01	0	0.001
K	0	0.001	0	0	0	0	0	0
Sum	4	4.119	4.001	4	3.996	3.991	3.988	3.997
Sample	K/18/2	K/18/3	K/18/4	K/18/5	K/21/1	K/21/2	K/21/3	K/21/4
Min	cpx							
SiO2	54.23	54.13	53.75	54.38	55.36	54.55	54.32	53.51

TiO ₂	0	0	0.01	0.04	0	0.02	0.01	0
Al ₂ O ₃	0.34	0.75	0.34	0.18	0.02	0.4	0.44	0.12
Cr ₂ O ₃	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0.01
Fe ₂ O ₃	0	0	0.06	0.04	0	0	0	0.64
FeO	2.81	1.52	2.67	1	0.61	3.76	3.43	0.03
MnO	0.14	0.06	0.11	0.06	0.07	0.2	0.17	0.03
MgO	16.86	17.88	17.03	18.43	18.56	16.05	16.41	19.06
CaO	23.99	23.76	23.89	24.18	24.09	23.71	23.76	24.11
Na ₂ O	0.12	0.16	0.12	0.03	0.01	0.14	0.15	0.02
K ₂ O	0	0	0	0.01	0	0	0.01	0
Totals	98.5	98.26	97.98	98.35	98.72	98.83	98.72	97.52
Oxygen s	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	2.002	1.99	1.996	1.996	2.015	2.013	2.005	1.979
Ti	0	0	0	0.001	0	0	0	0
Al	0.015	0.032	0.015	0.008	0.001	0.017	0.019	0.005
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₃	0	0	0.002	0.001	0	0	0	0.018
Fe ₂	0.087	0.047	0.083	0.031	0.019	0.116	0.106	0.001
Mn	0.004	0.002	0.003	0.002	0.002	0.006	0.005	0.001
Mg	0.928	0.98	0.942	1.008	1.007	0.883	0.903	1.05

Ca	0.949	0.936	0.95	0.951	0.94	0.937	0.94	0.955
Na	0.009	0.011	0.009	0.002	0	0.01	0.011	0.001
K	0	0	0	0.001	0	0	0.001	0
Sum	3.994	3.999	4	4	3.984	3.983	3.99	4.01
Sample	K/21/5	Kamph 10/6	B/1/1	B/1/2	B/1/3	B/1/5	B/1/6	B/11/1
Min								
	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx
SiO ₂	52.04	55.01	56.79	55.9	56.26	56.12	56.1	56.41
TiO ₂	0	0	0	0.01	0	0	0.02	0
Al ₂ O ₃	0.03	0.12	0.02	0.02	0.13	0.02	0.02	0
Cr ₂ O ₃	0	0.04	0	0	0.01	0.02	0	0
Fe ₂ O ₃	0.91	0.69	0	0.01	0	0	0	0
FeO	0.04	0.11	0.01	0	0	0	0.04	0.01
MnO	0.08	0.05	0.01	0	0.02	0	0	0
MgO	19.33	18.43	19.21	19.34	19.01	19.04	19.08	19.04
CaO	23.77	25.44	26.01	26.28	23.89	24.17	24.22	23.96
Na ₂ O	0.02	0.03	0	0	0	0.01	0	0.01
K ₂ O	0	0.02	0	0	0	0	0	0.01
	96.21	99.92	102.05	101.56	99.32	99.38	99.48	99.44

Totals								
Oxygen s	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	1.957	1.989	2.003	1.986	2.025	2.021	2.019	2.028
Ti	0	0	0	0	0	0	0.001	0
Al	0.001	0.005	0.001	0.001	0.005	0.001	0.001	0
Cr	0	0.001	0	0	0	0.001	0	0
Fe3	0.026	0.019	0	0	0	0	0	0
Fe2	0.001	0.003	0	0	0	0	0.001	0
Mn	0.002	0.001	0	0	0	0	0	0
Mg	1.083	0.993	1.01	1.024	1.02	1.022	1.024	1.02
Ca	0.958	0.986	0.983	1.001	0.921	0.933	0.934	0.923
Na	0.001	0.002	0	0	0	0.001	0	0
K	0	0.001	0	0	0	0	0	0
Sum	4.03	4	3.997	4.013	3.972	3.978	3.98	3.972
Sample	B/11/2	B/11/3	B/11/4	B/24/1	B/24/2	B/24/3	B/oliv2/ 2	B/oliv24/ 1
Min								
	cpx	cpx						
SiO2	56.38	56.18	55.89	56.22	56.7	56.05	55.57	55.79
TiO2	0.01	0.01	0	0.01	0	0.01	0	0
Al2O3	0.02	0.01	0.01	0.05	0.05	0.06	0	0.06
Cr2O3	0.01	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01

Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0.02	0	0.02	0	0.01	0	0	0
MnO	0	0.01	0.01	0.02	0	0	0.01	0.01
MgO	19.14	19.25	19.08	19.11	19.03	19.21	18.65	18.79
CaO	23.92	23.67	24.03	24.05	23.91	23.92	25.11	24.87
Na2O	0.01	0	0	0.02	0.03	0.03	0	0.02
K2O	0	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0
Totals	99.51	99.14	99.04	99.47	99.73	99.3	99.37	99.55
Oxygen s	6	6	6	6	6	6	6	6
Si	2.026	2.025	2.02	2.022	2.031	2.019	2.01	2.012
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0.001	0	0.001	0.002	0.002	0.003	0	0.003
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	0.001	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	1.025	1.034	1.028	1.024	1.016	1.031	1.005	1.01
Ca	0.921	0.914	0.931	0.927	0.918	0.923	0.973	0.961
Na	0.001	0	0	0.001	0.002	0.002	0	0.002
K	0	0	0	0	0	0	0.001	0
	3.974	3.975	3.98	3.977	3.969	3.98	3.99	3.987

Sum								
Sample	B/oliv24 /2	B/oliv24 /3	B/oliv32 /1	B/amph 1/1	B/amph 1/2	B/amph 1/4	B/amph1/5	
Min	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	cpx	
SiO ₂	55.32	55.94	55.08	55.64	55.62	56.01	55.87	
TiO ₂	0	0	0	0.04	0.04	0	0	
Al ₂ O ₃	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	
Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	0	0	0.02	0	0.03	
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	
FeO	0.01	0	0	0.04	0.01	0.02	0	
MnO	0	0	0.02	0	0	0	0	
MgO	18.75	18.86	18.72	18.46	18.68	18.65	18.92	
CaO	25.09	24.98	25.1	25.28	25.13	25.16	25.07	
Na ₂ O	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	
K ₂ O	0	0	0	0.01	0	0	0	
Totals	99.2	99.82	98.94	99.52	99.54	99.89	99.95	
Oxygen s	6	6	6	6	6	6	6	

Si	2.005	2.012	2.003	2.01	2.008	2.014	2.008	
Ti	0	0	0	0.001	0.001	0	0	
Al	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
Cr	0	0	0	0	0.001	0	0.001	
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	
Fe2	0	0	0	0.001	0	0.001	0	
Mn	0	0	0.001	0	0	0	0	
Mg	1.013	1.011	1.014	0.994	1.005	0.999	1.014	
Ca	0.975	0.963	0.978	0.979	0.972	0.969	0.966	
Na	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
K	0	0	0	0.001	0	0	0	
Sum	3.995	3.988	3.997	3.988	3.99	3.986	3.991	

Anfibólio:

Sample	JC/2/1	JC/2/2	JC/2/3	JC/2/4	JC/11/1	JC/11/2	JC/11/3	JC/11/5
Min	amph	amph	amph	amph	amph	amph	amph	amph
SiO ₂	58.55	58.33	58.76	58.72	58.66	59.41	59.51	58.58
TiO ₂	0	0.03	0	0.02	0	0	0.01	0.02
Al ₂ O ₃	0.1	0.65	0.46	0.18	0.21	0.07	0.09	0.13
Cr ₂ O ₃	0	0.02	0	0.03	0	0.03	0.01	0
Fe ₂ O ₃	0.14	0	0	0.09	0	0.09	0.11	0
FeO	0.05	0.16	0.13	0.04	0.11	0.03	0.04	0.14
MnO	0.01	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0
MgO	24.27	24.16	24.23	24.45	24.41	24.45	24.45	24.4
CaO	13.46	13.29	13.18	13.31	13.59	13.43	13.51	13.44
Na ₂ O	0.04	0.25	0.15	0.05	0.08	0.03	0.03	0.07
K ₂ O	0.03	0.22	0.12	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04
Totals	96.64	97.11	97.03	96.95	97.14	97.6	97.83	96.82
Oxygen s	23	23	23	23	23	23	23	23

Si	8.01	7.955	8.002	8.004	7.99	8.038	8.034	8.002
Ti	0	0.003	0	0.002	0	0	0.001	0.002
Al	0.016	0.105	0.073	0.029	0.033	0.011	0.015	0.02
Cr	0	0.002	0	0.003	0	0.003	0.001	0
Fe3	0.014	0	0	0.009	0	0.009	0.011	0
Fe2	0.006	0.018	0.015	0.004	0.013	0.004	0.005	0.016
Mn	0.001	0	0	0.002	0.001	0.001	0.001	0
Mg	4.948	4.911	4.917	4.967	4.955	4.93	4.92	4.967
Ca	1.973	1.942	1.923	1.944	1.983	1.947	1.954	1.967
Na	0.01	0.066	0.041	0.013	0.021	0.007	0.008	0.019
K	0.004	0.039	0.021	0.01	0.011	0.01	0.009	0.007
Sum	14.982	15.04	14.989	14.985	15.009	14.959	14.959	14.996
Sample	JC/13/1	JC/13/2	JC/13/3	JC/PX2/1	JC/PX2/2	JC/PX2/3	JC/PX2/4	JC/PX3/1
Min	amph	amph	amph	amph	amph	amph	amph	amph
SiO ₂	58.2	58.87	58.76	58.62	57.69	58.89	58.6	58.56
TiO ₂	0	0	0.04	0.02	0.04	0.03	0.03	0
Al ₂ O ₃	0.05	0.13	0.16	0.37	0.68	0.42	0.57	0.35
Cr ₂ O ₃	0.01	0	0	0	0.02	0.01	0	0
Fe ₂ O ₃	0.11	0.09	0	0	0.09	0	0.06	0
FeO	0.04	0.04	0.08	0.15	0.08	0.17	0.11	0.14

MnO	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0.03
MgO	24.16	24.59	24.55	24.82	24.81	24.76	24.85	24.59
CaO	13.77	13.42	13.33	12.87	12.62	12.67	12.72	12.86
Na ₂ O	0.02	0.04	0.05	0.13	0.21	0.11	0.2	0.11
K ₂ O	0.04	0.06	0.08	0.12	0.24	0.15	0.17	0.1
Totals	96.42	97.24	97.06	97.11	96.48	97.2	97.31	96.74
Oxygen s	23	23	23	23	23	23	23	23
Si	7.993	8.002	8.001	7.976	7.913	7.996	7.957	7.995
Ti	0	0	0.004	0.002	0.005	0.003	0.003	0
Al	0.008	0.02	0.025	0.059	0.11	0.067	0.092	0.056
Cr	0.001	0	0	0	0.002	0.001	0	0
Fe3	0.011	0.009	0	0	0.009	0	0.006	0
Fe2	0.005	0.004	0.009	0.017	0.009	0.019	0.013	0.016
Mn	0.001	0	0.001	0.001	0	0	0	0.003
Mg	4.945	4.981	4.982	5.033	5.071	5.01	5.029	5.003
Ca	2.026	1.955	1.945	1.876	1.855	1.843	1.851	1.881
Na	0.006	0.011	0.014	0.036	0.056	0.029	0.052	0.03
K	0.008	0.01	0.013	0.021	0.041	0.026	0.03	0.017
Sum	15.004	14.993	14.993	15.02	15.071	14.995	15.032	15.001
Sample	JC/PX3/	JC/PX3/	K/10/1	K/10/2	K/10/3	K/10/4	K/10/5	K/28/1

	2	3						
Min								
	amph							
SiO ₂	58.61	57.7	57.64	57.6	57.18	57.89	55.28	58.23
TiO ₂	0.04	0.01	0	0	0	0.05	0.03	0
Al ₂ O ₃	0.44	0.54	0.12	0.42	0.59	0.34	0.26	0.07
Cr ₂ O ₃	0	0	0.01	0	0.01	0.01	0.02	0
Fe ₂ O ₃	0	0.12	0	0	0	0	1.01	1.02
FeO	0.14	0.07	1.11	1.26	1.21	1.23	0.39	0.39
MnO	0	0	0.04	0.05	0.08	0.06	0.06	0.03
MgO	24.78	25.02	23.96	23.94	23.95	24.05	23.4	23.77
CaO	12.54	12.63	13.44	13.37	13.27	13.33	14.66	13.71
Na ₂ O	0.13	0.14	0.03	0.13	0.17	0.1	0.05	0.02
K ₂ O	0.13	0.2	0.01	0.08	0.13	0.08	0.03	0.01
Totals	96.81	96.44	96.37	96.85	96.57	97.13	95.19	97.25
Oxygen S	23	23	23	23	23	23	23	23
Si	7.988	7.915	7.956	7.923	7.892	7.934	7.788	7.961
Ti	0.004	0.001	0	0	0	0.006	0.003	0

Al	0.071	0.088	0.02	0.068	0.096	0.054	0.043	0.011
Cr	0	0	0.001	0	0.001	0.001	0.003	0
Fe3	0	0.013	0	0	0	0	0.107	0.105
Fe2	0.016	0.008	0.129	0.145	0.14	0.141	0.046	0.045
Mn	0	0	0.005	0.006	0.009	0.007	0.007	0.003
Mg	5.034	5.115	4.929	4.907	4.927	4.912	4.913	4.843
Ca	1.831	1.856	1.988	1.97	1.963	1.958	2.213	2.008
Na	0.033	0.036	0.009	0.034	0.045	0.026	0.013	0.005
K	0.023	0.035	0.003	0.014	0.022	0.014	0.006	0.001
Sum	15	15.068	15.039	15.068	15.093	15.053	15.142	14.984
Sample	K/28/2	K/28/3	K/28/4	K/28/5	K/2/1	K/2/2	K/2/3	K/2/4
Min								
	amph							
SiO ₂	56.91	55.91	56.8	54.47	32.13	33.58	34.7	34.51
TiO ₂	0.04	0.06	0.06	0.02	0	0.03	0.06	0.02
Al ₂ O ₃	0.34	0.45	0.53	0.4	14.22	14.31	13.82	13.88
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0.02	0	0	0	0
Fe ₂ O ₃	0	1.24	0	1.14	2.96	3.03	2.8	2.94
FeO	1.4	0.48	1.58	0.44	1.14	1.17	1.08	1.13
MnO	0.02	0.06	0.06	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
MgO	23.58	23.83	23.77	24.05	34.17	33.53	32.94	33.19

CaO	13.29	13.31	13.26	13.28	0.14	0.03	0.03	0.05
Na ₂ O	0.06	0.13	0.17	0.11	0.01	0.03	0.03	0.01
K ₂ O	0.05	0.06	0.08	0.07	0.36	0.89	1.5	1.1
Totals	95.69	95.54	96.31	94.05	85.16	86.63	86.97	86.86
Oxygen s	23	23	23	23	23	23	23	23
Si	7.926	7.817	7.877	7.752	5.095	5.235	5.388	5.359
Ti	0.004	0.007	0.007	0.002	0	0.003	0.007	0.002
Al	0.056	0.075	0.086	0.067	2.658	2.63	2.53	2.541
Cr	0.001	0	0	0.002	0	0	0	0
Fe3	0	0.131	0	0.122	0.354	0.356	0.327	0.344
Fe2	0.163	0.056	0.183	0.052	0.152	0.153	0.14	0.147
Mn	0.003	0.007	0.007	0.007	0.004	0.003	0.002	0.003
Mg	4.894	4.965	4.913	5.101	8.075	7.79	7.623	7.681
Ca	1.983	1.994	1.97	2.025	0.024	0.005	0.004	0.008
Na	0.017	0.035	0.047	0.029	0.003	0.01	0.008	0.004
K	0.008	0.011	0.015	0.013	0.073	0.176	0.297	0.217
Sum	15.055	15.097	15.104	15.172	16.437	16.362	16.329	16.307
Sample	B/1/3	B/27/1	B/27/2	B/27/3	B/27/4	B/32/1	B/32/2	B/32/3
Min	amph							

SiO ₂	58.74	59.15	59.46	59.43	59.71	59.5	59.4	59.73
TiO ₂	0	0.03	0	0	0.01	0.01	0.02	0
Al ₂ O ₃	0.06	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.16	0.05
Cr ₂ O ₃	0	0.01	0	0	0	0	0.02	0
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0	0.01	0	0	0	0	0
MgO	24.43	24.15	24.35	24.4	24.46	23.87	24.58	24.39
CaO	13.23	13.46	13.36	13.47	13.46	13.67	12.35	13.22
Na ₂ O	0.18	0.15	0.17	0.12	0.16	0.09	0.67	0.15
K ₂ O	0	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.34	0.02
Totals	96.64	96.96	97.37	97.44	97.83	97.17	97.54	97.56
Oxygen s	23	23	23	23	23	23	23	23
Si	8.025	8.054	8.057	8.049	8.054	8.08	8.043	8.071
Ti	0	0.003	0	0	0.001	0.001	0.002	0
Al	0.01	0.001	0.003	0.003	0.003	0.005	0.025	0.007
Cr	0	0.001	0	0	0	0	0.002	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	0	0	0	0	0	0	0	0

Mn	0	0	0.001	0	0	0	0	0
Mg	4.974	4.9	4.918	4.925	4.917	4.831	4.96	4.911
Ca	1.937	1.964	1.94	1.955	1.945	1.989	1.792	1.914
Na	0.047	0.04	0.044	0.032	0.041	0.023	0.177	0.04
K	0	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.058	0.004
Sum	14.994	14.964	14.963	14.965	14.964	14.929	15.059	14.947
Sample	B/32/4	Boliv32/ 2	Bpx32/ 1					
Min								
	amph	amph	amph					
SiO ₂	59.24	58.57	59.7					
TiO ₂	0	0	0					
Al ₂ O ₃	0.02	0.14	0.12					
Cr ₂ O ₃	0	0.01	0					
Fe ₂ O ₃	0.02	0	0.01					
FeO	0.01	0	0					
MnO	0	0.02	0					
MgO	24.53	24.72	25.21					
CaO	13.52	12.76	12.03					
Na ₂ O	0.11	0.42	0.51					
	0.01	0.18	0.18					

K2O								
Totals	97.45	96.81	97.76					
Oxygen s	23	23	23					
Si	8.029	7.997	8.044					
Ti	0	0	0					
Al	0.003	0.022	0.019					
Cr	0	0.001	0					
Fe3	0.002	0	0.001					
Fe2	0.001	0	0					
Mn	0	0.002	0					
Mg	4.955	5.03	5.063					
Ca	1.963	1.867	1.737					
Na	0.028	0.112	0.132					
K	0.002	0.031	0.03					
Sum	14.983	15.062	15.027					

Carbonatos:

Sample	A/18/1	A/18/2	A/18/3	A/30/1	A/30/2	A/30/3	A/52/1	A/52/2
Min	carb							
SiO ₂	0	0	0	0	0	0	0.01	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	0.03	0.01	0	0.04	0	0	0	0.01
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0.02	0	0	0.01	0.02
MnO	0	0	0	0	0	0	0	0.02
MgO	22.04	21.44	21.88	2.05	2.08	1.28	21.79	22
CaO	32.85	33.34	32.85	57.34	56.92	52.3	32.97	32.83
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
Totals	54.92	54.79	54.73	59.45	59	53.58	54.79	54.88
Oxygen s	0	0	0	0	0	0	0	0

Si	0	0	0	0	0	0	0	0
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0.001	0.001	0	0.002	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	0	0	0	0.001	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	0.965	0.944	0.962	0.095	0.097	0.066	0.958	0.964
Ca	1.034	1.055	1.038	1.903	1.903	1.934	1.042	1.035
Na	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	2	2	2	2	2	2	2	2
Sample	A/52/3	JC/16/1	JC/16/2	JC/16/3	JC/18/1	JC/18/2	JC/18/3	JC/7/1
Min	carb	carb	carb	carb	carb	carb	carb	carb
SiO2	0	0	0	0	0	0	0	0
TiO2	0	0	0	0	0	0	0	0
Al2O3	0.03	0.02	0	0	0	0.01	0	0.02
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04	0.04	0.1	0.01
	0	0	0.01	0.02	0	0.01	0.01	0.01

MnO								
MgO	17.05	2.64	0.99	1.75	21.62	22.04	21.86	1.82
CaO	31.88	60.52	62.42	57.7	32.81	32.87	33.4	60.29
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
Totals	48.98	63.19	63.44	59.49	54.47	54.97	55.37	62.15
Oxygen s	0	0	0	0	0	0	0	0
Si	0	0	0	0	0	0	0	0
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0.001
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₂	0.001	0	0	0	0.001	0.001	0.002	0
Mn	0	0	0	0.001	0	0	0	0
Mg	0.852	0.114	0.043	0.081	0.956	0.964	0.952	0.081
Ca	1.146	1.885	1.956	1.918	1.043	1.034	1.046	1.918
Na	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	2	2	2	2	2	2	2	2
Sample	JC/7/2	JC/7/3	JCamp h11/4	K/1/1	K/1/2	K/1/3	K/2/1	K/2/2

Min	carb							
SiO ₂	0	0	0.01	0	0	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	0.01	0.02	0	0	0	0.01	0.01	0
Cr ₂ O ₃	0	0	0.04	0	0	0	0	0
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0.02	0.05	0.11	0.02	0.11	0.11	0.43	0.39
MnO	0	0.01	0	0.07	0.06	0.07	0.07	0.04
MgO	1.75	4.28	21.44	1.06	1.78	1.58	21.63	21.51
CaO	60.21	53.21	30.66	62.06	62.64	61.59	32.84	32.92
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
Totals	62	57.57	52.27	63.21	64.59	63.36	54.98	54.87
Oxygen s	0	0	0	0	0	0	0	0
Si	0	0	0	0	0	0	0	0
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0.001	0.001	0	0	0	0	0	0

Cr	0	0	0.001	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	0.001	0.001	0.003	0	0.003	0.003	0.011	0.01
Mn	0	0	0	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001
Mg	0.078	0.201	0.984	0.046	0.076	0.069	0.95	0.947
Ca	1.921	1.797	1.012	1.951	1.92	1.927	1.037	1.042
Na	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	2	2	2	2	2	2	2	2
Sample	K/2/3	K/3/1	K/3/2	K/3/3	B/6/1	B/6/2	B/6/3	B/6/4
Min								
	carb							
SiO ₂	0	0	0	0	0.03	0	0	0
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	0	0	0	0.03	0.01	0.01	0.02	0
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0.25	0.1	0.07	0.08	0.03	0.01	0	0
MnO	0.23	0.05	0.06	0.03	0.01	0	0.01	0
MgO	20.71	1.8	1.83	1.49	1.56	1.81	1.79	1.6
CaO	33.58	62.9	62.24	62.36	61.41	60.14	57.84	59.44

Na2O	0	0	0	0	0	0	0	0
K2O	0	0	0	0	0	0	0	0
Totals	54.78	64.85	64.2	63.98	63.05	61.97	59.66	61.05
Oxygen s	0	0	0	0	0	0	0	0
Si	0	0	0	0	0.001	0	0	0
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0	0	0	0.001	0	0	0.001	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	0.006	0.002	0.002	0.002	0.001	0	0	0
Mn	0.006	0.001	0.002	0.001	0	0	0	0
Mg	0.918	0.076	0.078	0.064	0.068	0.08	0.082	0.072
Ca	1.07	1.92	1.918	1.932	1.93	1.919	1.916	1.928
Na	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	2	2	2	2	2	2	2	2
Sample	B/9/1	B/9/2	B/9/3	B/17/1	B/17/2	B/17/3	B/17/4	Boliv2/1
Min	carb	carb	carb	carb	carb	carb	carb	carb
SiO2	0	0	0	0	0	0	0.01	0

TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	0	0.01	0	0	0	0	0.05	0
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0
MnO	0.01	0.01	0.02	0	0	0	0	0
MgO	21.8	22.1	21.91	21.92	21.67	21.33	21.76	1.44
CaO	32.77	32.82	32.33	33.14	33.43	33.47	32.65	56.2
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0
Totals	54.6	54.94	54.26	55.06	55.1	54.8	54.47	57.64
Oxygen s	0	0	0	0	0	0	0	0
Si	0	0	0	0	0	0	0	0
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0	0	0	0	0	0	0.002	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₂	0.001	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	0.961	0.967	0.97	0.958	0.948	0.94	0.961	0.069

Ca	1.038	1.032	1.029	1.042	1.052	1.06	1.037	1.931
Na	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	2	2	2	2	2	2	2	2
Sample	Bpx1/1	Bpx1/2	Bpx1/3	Bpx1/4	Bpx1/7	Bpx32/1	Bpx32/2	Bpx32/3
Min								
	carb	carb	carb	carb	carb	carb	carb	carb
SiO ₂	0.02	0	0	0	0.02	0.03	0.03	0.02
TiO ₂	0.02	0	0	0.01	0.01	0.03	0	0
Al ₂ O ₃	0	0	0	0.01	0	0.01	0	0
Cr ₂ O ₃	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0.01	0.01	0	0.02	0	0.02
MnO	0.02	0.01	0	0.01	0	0	0.01	0
MgO	1.87	1.99	1.92	1.86	1.67	1.77	1.89	1.86
CaO	50.32	50.41	50.81	51.16	49.95	49.54	50.91	50.39
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0.02
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0

Totals	52.28	52.42	52.74	53.05	51.65	51.41	52.84	52.31
Oxygen s	0	0	0	0	0	0	0	0
Si	0.001	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001
Ti	0.001	0	0	0	0	0.001	0	0
Al	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	0.001	0	0	0	0	0	0	0
Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2	0	0	0	0	0	0.001	0	0.001
Mn	0.001	0	0	0	0	0	0	0
Mg	0.098	0.104	0.1	0.096	0.089	0.095	0.098	0.098
Ca	1.899	1.895	1.9	1.903	1.91	1.902	1.9	1.9
Na	0	0	0	0	0	0	0	0.002
K	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	2	2	2	2	2	2	2	2
Sample	Bamph27/5							
Min	carb							
SiO2	0							
TiO2	0							
Al2O3	0							
	0.02							

Cr ₂ O ₃								
Fe ₂ O ₃	0							
FeO	0							
MnO	0							
MgO	1.68							
CaO	53.23							
Na ₂ O	0							
K ₂ O	0.01							
Totals	54.94							
Oxygen s	0							
Si	0							
Ti	0							
Al	0							
Cr	0							
Fe ₃	0							
Fe ₂	0							
Mn	0							
Mg	0.084							
Ca	1.915							
Na	0							
K	0							

Sum	2								
-----	---	--	--	--	--	--	--	--	--

Outros:

Flo go pita															
GB - 01- JC															
No.	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe O	Mn O	Ca O	K ₂ O	TiO 2	Cr ₂ O ₃	Na 2O	Mg O	Total	Commen t			
1	43. 11	12. 51	0.3 06 2	0.0 07 9	0.0 79 5	9.4 7	0.0 38 6	0.0 16	0.0 17 3	28. 55	94. 10 56	Px 01- 01			
2	42. 57	12. 99	0.3 44	0	0.0 17 7	9.7 6	0.0 48 9	0.0 17 6	0.0 40 7	28. 53	94. 31 9	Px 01- 02			
3	43. 32	12. 9	0.3 17 8	0.0 14 2	0.0 59 1	9.3 1	0.0 12 7	0.0 09 6	0.0 29 2	28. 38	94. 35 26	Px 01- 03			
GB - 01- K2															
No.	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe O	Mn O	Cl	Ca O	K ₂ O	TiO 2	Cr ₂ O ₃	Zn O	F				
No.	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe O	Mn O	Cl	Ca O	K ₂ O	TiO 2	Cr ₂ O ₃	Zn O	F	Na 2O	Mg O	Total	Co mm ent
12	32. 13	14. 22	3.8 1	0.0 26 5	0.0 09 8	0.1 38 5	0.3 59 7	0	0	0	0.1 36 9	0.0 08 6	34. 17	85. 01 01	am ph 02- 01
13	33. 58	14. 31	3.9	0.0 26	0.0 18	0.0 32 6	0.8 86 8	0.0 26 2	0	0.0 31 8	0.1 76 6	0.0 32	33. 53	86. 55 01	am ph 02- 02
14	34. 7	13. 82	3.6	0.0 18 6	0.0 06 5	0.0 26 7	1.5	0.0 59 3	0	0	0.1 67 1	0.0 27 9	32. 94	86. 86 61	am ph 02-

																	03
15	34. 51	13. 88	3.7 8	0.0 24 7	0.0 29 4	0.0 48 1	1.0 96 2	0.0 15 1	0.0 03 7	0.0 18 7	0.0 74 4	0.0 12 9	33. 19	86. 68 33	am ph 02- 04		
Mistura de minerais não identificados																	
GB - 01- K2																	
No.	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe 2O 3	Mn O	Ca O	TiO 2	Mg O	Ce 2O 3	La 2O 3	Y ₂ O ₃	Total	Commen t					
1	57. 32	0.0 35 9	6.1 6	0.0 36 8	0.3 35 9	0	27. 86	0	0.0 16 1	0	91. 76 47	epi 11- 01					
2	58. 66	0.0 28 1	6.4 4	0.0 47 9	0.3 64 4	0.0 30 4	27. 59	0.0 03 7	0.0 34 6	0	93. 19 92	epi 11- 02					
3	44. 42	0.0 18 9	2.7 5	0.0 16 3	0.1 30 1	0.0 29 4	38. 23	0	0.0 20 9	0	85. 61 56	epi 11- 03					
4	58. 37	0.0 13 2	5.9 1	0.0 21 2	0.3 18 7	0	27. 26	0	0.0 09 2	0	91. 90 24	epi 11- 04					
5	46. 22	0	1.5 9	0	0.6 39 9	0	35. 43	0	0	0	83. 88	epi 11- 05					
6	53. 81	0.0 70 1	7	0.0 51 6	0.4 19 1	0.0 02 6	30. 09	0.0 08 5	0	0	91. 45 2	epi 13- 01					
7	52. 26	0.0 1	11. 68	0.0 99 6	0.4 90 4	0	26. 53	0	0.0 22 7	0	91. 09 28	epi 13- 02					
8	44. 56	0.0 20 4	2.8	0.0 36 5	0.1 29	0.0 08 6	39. 22	0	0.0 23 2	0	86. 79 78	epi 13- 03					
9	51. 29	0.0 10 4	8.3 1	0.0 97	0.3 83 7	0.0 52 5	29. 46	0	0	0	89. 60 37	epi 13- 04					

10	50. 18	0.0 19 3	6.7 9	0.0 66 8	5.2 9	0.0 66	23. 16	0.0 06 4	0	0	85. 57 86	epi 13- 05			
11	51. 41	0	5.6 5	0.0 33 5	0.2 17 1	0.0 13 8	30. 81	0.0 14 1	0	0	88. 14 86	epi 02- 01			
12	52. 79	0.0 29 9	7.1 5	0.0 58 1	0.3 60 5	0.0 06	29. 25	0	0.0 25 3	0	89. 66 99	epi 02- 02			
13	42. 76	0.0 30 7	2.6 8	0.0 17 7	0.0 49 1	0	39. 66	0.0 04 4	0.0 04 7	0	85. 20 66	epi 02- 03			
14	51. 22	0	7.6 1	0.0 76 1	0.3 47 6	0.0 11 1	28. 41	0	0.1 03 4	0	87. 77 83	epi 02- 04			
15	40. 47	0.0 24 1	6.8 1	0.0 55 9	0.3 16	0.0 27 3	32. 29	0	0.0 25 3	0	80. 01 87	epi 02- 05			
No.	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe O	Mn O	Cl	Ca O	K ₂ O	TiO 2	Cr ₂ O ₃	Zn O	F	Na 2O	Mg O	Total	Comment
16	60. 28	0.2 10 5	3.5 7	0.0 70 2	0.0 01 7	0.1 12 9	0.0 21 5	0	0	0.0 55 7	0	0.0 52 1	19. 42	83. 79 47	am ph 02- 05
No.	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe O	Mn O	K ₂ O	Ca O	Cr ₂ O ₃	Ni O	Na 2O	Mg O	Total	Comment			
1	49. 11	0.0 11 9	7.5 4	0.0 94 1	0.0 37 2	0.3 81 5	0.0 26 4	0.0 01	0.0 01	30. 19	87. 39 32	epiteste 0-1			

Anexo C:

Pseudosseções modeladas em maior tamanho, sem as indicações da paragênese observada neste trabalho

M

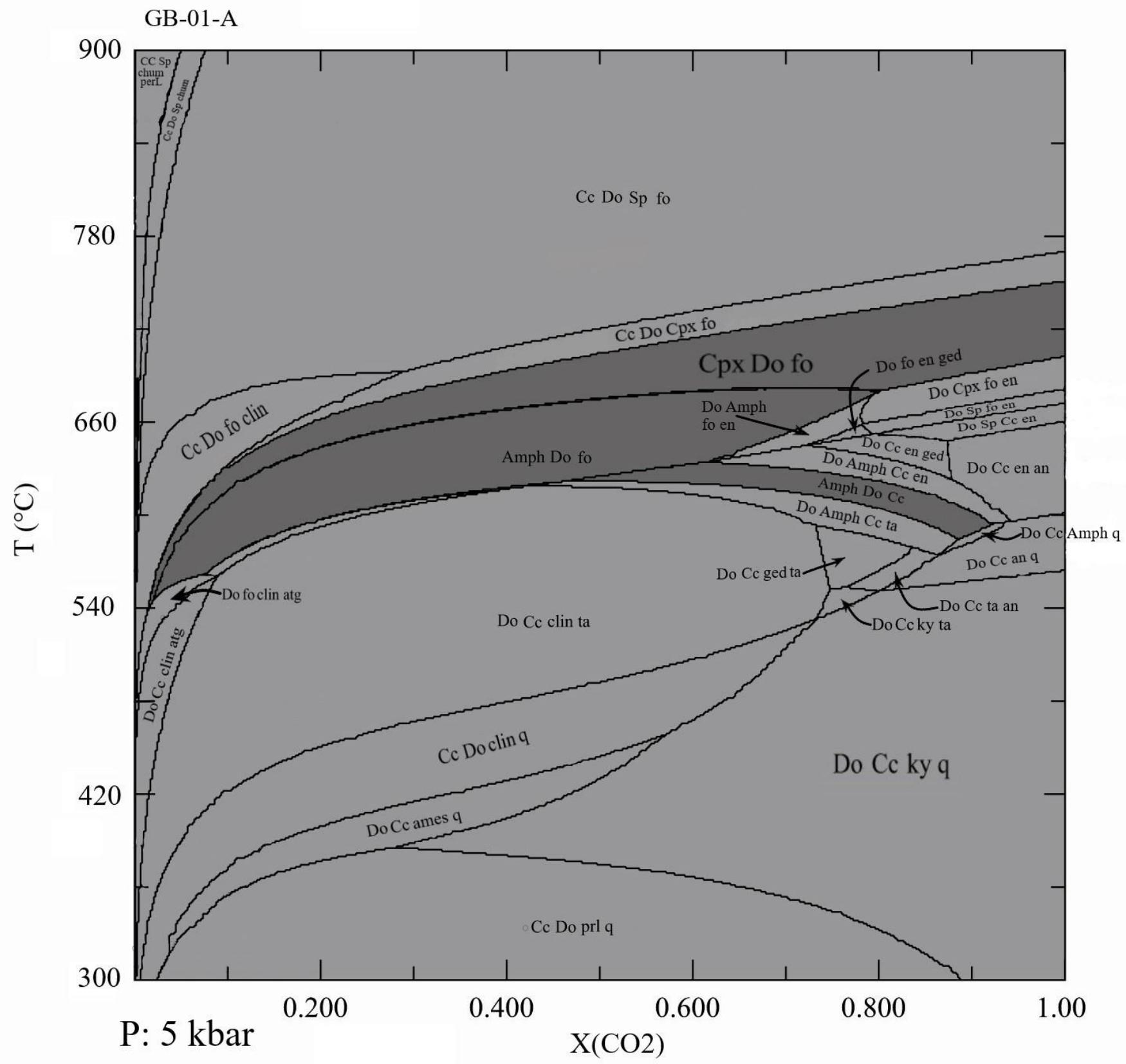


Figura 41

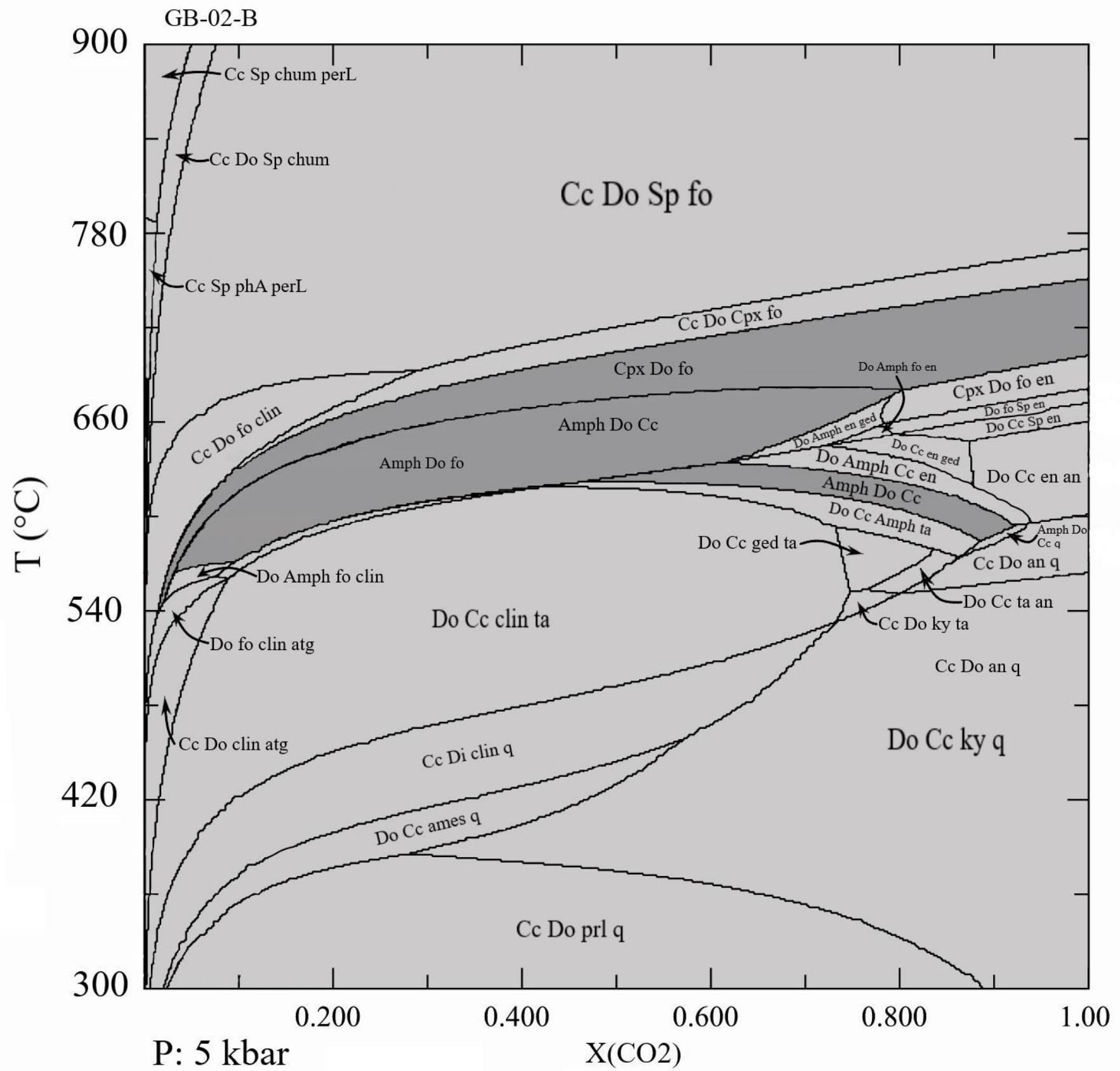


Figura 42

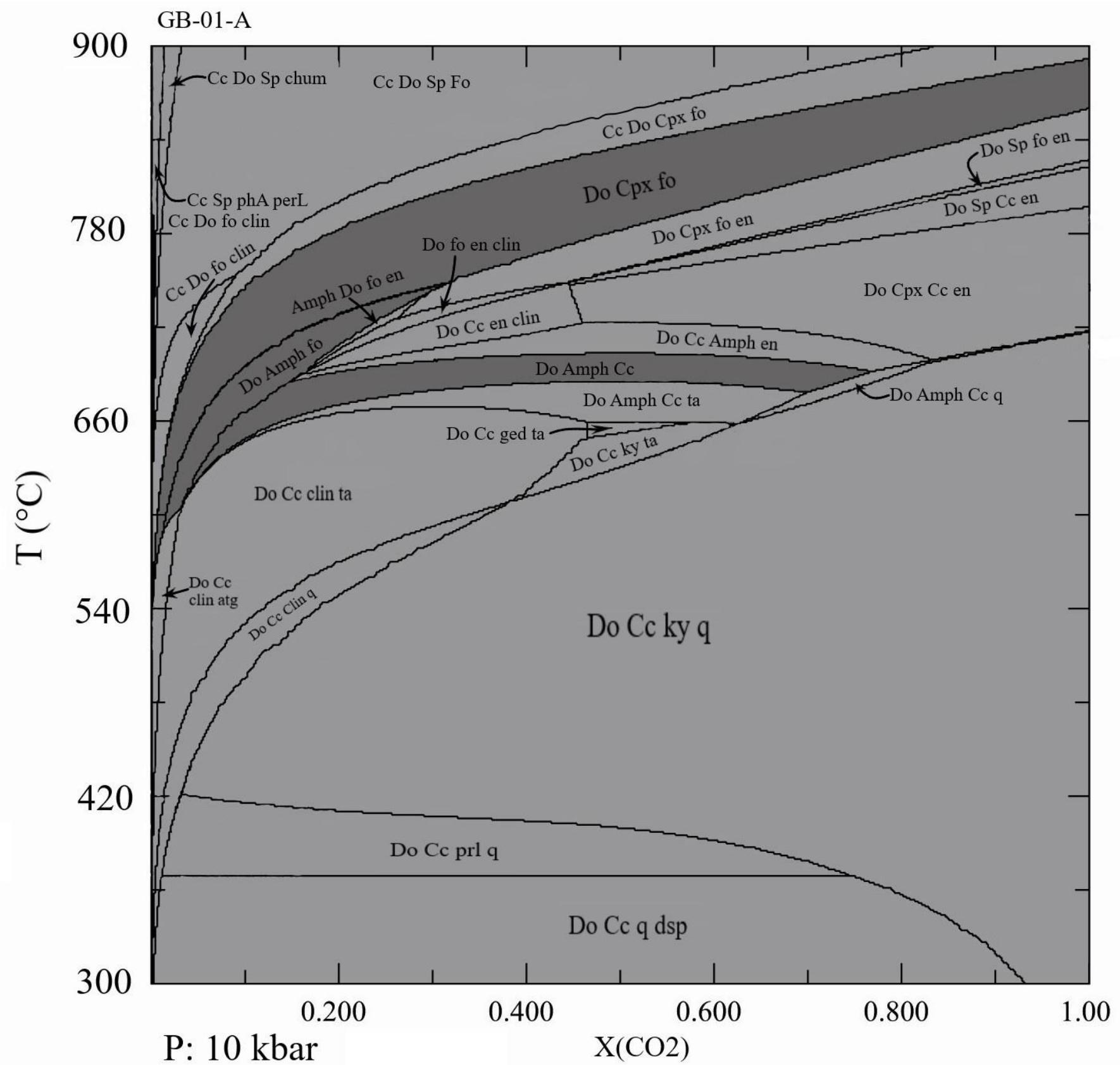


Figura 43

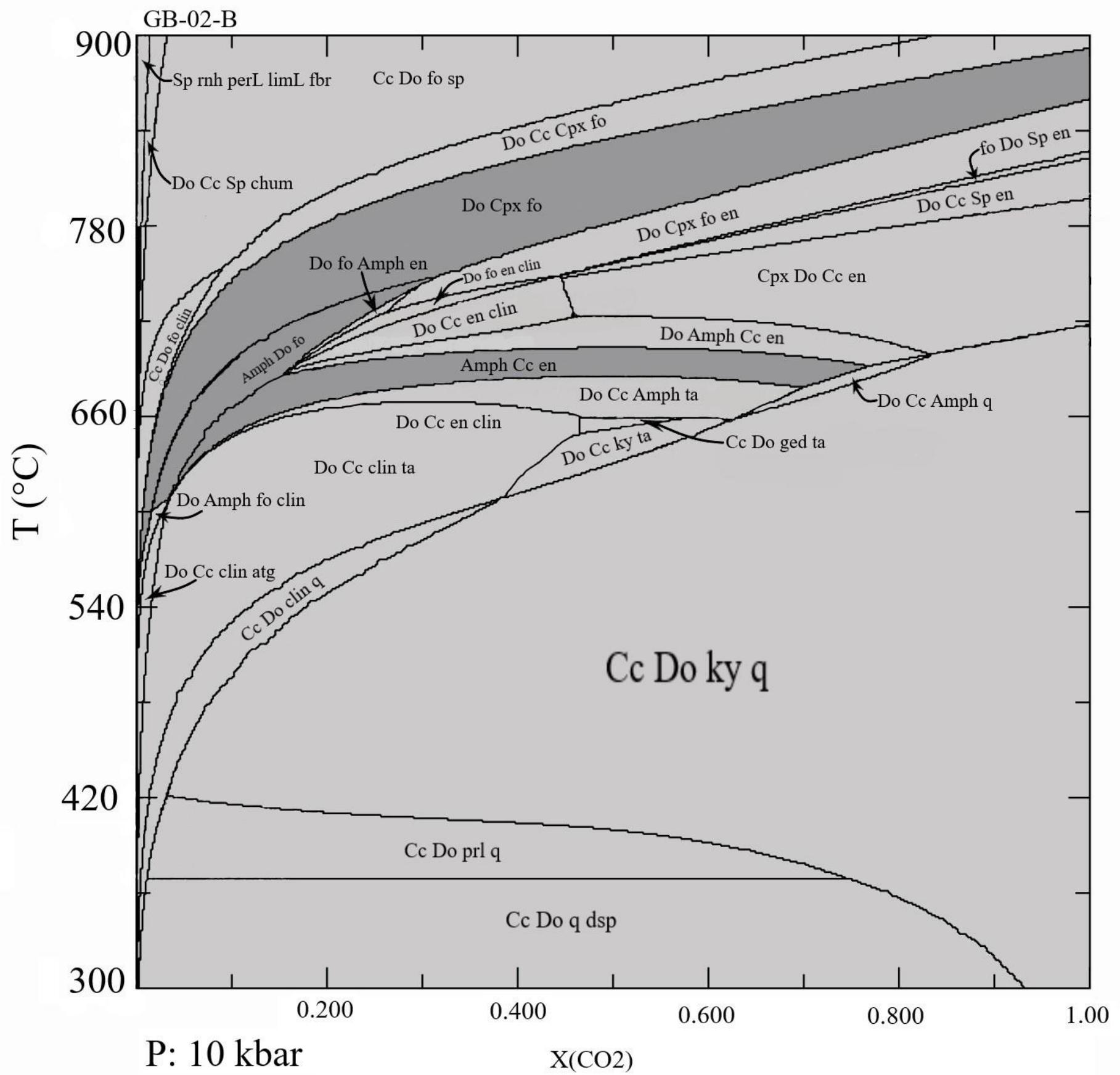


Figura 44