



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO PETROGRÁFICO, MICROQUÍMICO E TERMOBAROMÉTRICO DOS
GRANULITOS MÁFICO E ALUMINOSO DA FOLHA JEQUERI (1:50.000), ZONA DA
MATA MINEIRA**

Stéfani Mares Ferreira

MONOGRAFIA nº 488

Ouro Preto, outubro de 2023

**ESTUDO PETROGRÁFICO, MICROQUÍMICO E
TERMOBAROMÉTRICO DOS GRANULITOS MÁFICO E
ALUMINOSO DA FOLHA JEQUERI (1:50.000), ZONA DA
MATA MINEIRA**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. José Alberto Naves

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Dr. Geraldo Magela Santos Sampaio

MONOGRAFIA

Nº 488

ESTUDO PETROGRÁFICO, MICROQUÍMICO E TERMOBAROMÉTRICO DOS GRANULITOS MÁFICO E ALUMINOSO DA FOLHA JEQUERI (1:50.000), ZONA DA MATA MINEIRA

Stéfani Mares Ferreira

Orientadora

Prof.^a Dr.^a Gláucia Nascimento Queiroga

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2023/1.

OURO PRETO

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F383e Ferreira, Stéfani Mares.

Estudo petrográfico, microquímico e termobarométrico dos granulitos máfico e aluminoso da Folha Jequeri (1:50.000), Zona da Mata Mineira. [manuscrito] / Stéfani Mares Ferreira. - 2023.

64 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Gláucia Nascimento Queiroga.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Petrogênese. 2. Química mineral. 3. Termobarometria. 4. Granulitos. I. Queiroga, Gláucia Nascimento. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 552.11

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Stéfani Mares Ferreira

Estudo petrográfico, microquímico e termobarométrico dos granulitos máfico e aluminoso da Folha Jequeri (1:50.000), Zona da Mata Mineira

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Geólogo

Aprovada em 10 de outubro de 2023

Membros da banca

Dra. Gláucia Nascimento Queiroga - Orientadora (Departamento de Geologia/UFOP)
Dr. Gustavo Henrique Coelho de Melo - (Departamento de Geologia/UFOP)
Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano - (Departamento de Geologia/UFOP)

Gláucia Nascimento Queiroga, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 18/10/2023



Documento assinado eletronicamente por **Gláucia Nascimento Queiroga**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/10/2023, às 12:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0609140** e o código CRC **89F990EA**.

Agradecimentos

Em todos os momentos da minha jornada estive acompanhada dos melhores e, por isso, é preciso agradecê-los. Aos meus pais, Audrey e Sandro, agradeço por serem minha fonte sólida de amor incondicional, proteção e carinho. Acima de tudo, agradeço-os por terem feito esse sonho se tornar realidade, caminhando ao meu lado sem soltar a minha mão em nenhum momento. Aos meus irmãos, Adanne e Sandrey, agradeço pelo companheirismo, amor e compaixão. Aos meus avós, Gabriela e Mateus (*in memoriam*), por fazerem de mim quem sou, promoverem e incentivarem os meus estudos desde sempre e, mais ainda, por me amarem incondicionalmente. Vó: isso aqui é SEU!

Ao Ailton, agradeço pela parceria e carinho. Aos amigos de BH e de Ouro Preto por terem feito essa jornada mais leve. Ao T por ser o melhor amigo que eu poderia ter. Agradeço aos grandes colegas e parceiros de geologia: Alice, Ana Eliza, Ana Lima, Bernardo, Lucas, Malena, Natália, Paula, Scarlety, Tácita e Vanessa por serem todo o meu apoio durante a graduação, pelas quintas geológicas, campos e tudo mais que pudemos aproveitar.

À professora Gláucia, pelos ensinamentos, orientação, amizade, paciência e parceria. Agradeço, principalmente, por me fazer amar a metamórfica. À todos da Anglo American que contribuíram cada um de alguma forma para o meu crescimento pessoal e profissional. À FAPEMIG (projeto APQ-02811-21) e ao CNPq (bolsa de produtividade em pesquisa PQ-1D concedida à orientadora) pelos financiamentos. Por fim, agradeço à Universidade Federal de Ouro Preto, ao Departamento de Geologia, à Escola de Minas e à Fundação Gorceix, por terem me proporcionado um ensino público superior de qualidade. Viva a geologia!!

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	x
SUMÁRIO	xii
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE QUADROS	xvi
LISTA DE TABELAS	xvii
RESUMO	xix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.4 METODOLOGIA.....	3
1.4.1 Revisão bibliográfica.....	3
1.4.2 Catalogação e organização das lâminas petrográficas.....	3
1.4.3 Análise petrográfica das amostras.....	4
1.4.4 Obtenção e tratamento de dados de química mineral e geotermobarometria	4
1.4.5 Redação da monografia.....	6
2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	8
2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO.....	8
2.1.1 O Orógeno Araçuai.....	9
2.2 SÍNTESE DA ESTRATIGRAFIA REGIONAL.....	11
2.2.1 Embasamento cristalino.....	12
2.2.1.1 Complexo Mantiqueira.....	12
2.2.1.2 Complexo Juiz de Fora.....	12
2.2.2 Cobertura neoproterozoica.....	13
2.2.2.1 Grupo Andrelândia.....	13
2.2.2.2 Orto-anfibolito Santo Antônio do Grama.....	13
2.2.2.3 Supersuíte G2.....	13
3 RESULTADOS	15
3.1 INTRODUÇÃO.....	15
3.2 DESCRIÇÃO MACRO E MICROSCÓPICA.....	16
3.2.1 Complexo Juiz de Fora.....	16
3.2.2 Grupo Andrelândia.....	17
3.3 QUÍMICA MINERAL.....	19
3.3.1 Complexo Juiz de Fora.....	19
3.3.1.1 Clinopiroxênio.....	20
3.3.1.2 Ortopiroxênio.....	23

3.3.1.3 Hornblenda.....	26
3.3.1.4 Granada.....	29
3.3.1.5 Plagioclásio.....	34
3.3.1.6 Ilmenita.....	37
3.3.2 Grupo Andrelândia.....	38
3.3.2.1 Sillimanita.....	39
3.3.2.2 Plagioclásio.....	40
3.3.2.3 Biotita.....	43
3.3.2.4 K-feldspato.....	46
3.3.2.5 Granada.....	48
3.4 GEOTERMOBAROMETRIA.....	52
3.4.1 Pares minerais.....	52
3.4.1.1 Granulito máfico.....	52
3.4.1.2 Paragnaisse granatífero.....	53
3.4.2 Thermocalc.....	54
3.4.2.1 Paragnaisse granatífero.....	54
4 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	57
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Mapa de localização e vias de acesso para a área de estudo	2
Figura 1.2 - Organograma ilustrando a metodologia adotada neste trabalho	3
Figura 2.1 - Mapa geológico simplificado, sobreposto à imagem de satélite, da região de estudo	9
Figura 2.2 - Compartimentos tectônicos do Orógeno Araçuai-Congo Ocidental	10
Figura 3.1 - Mapa geológico da Folha Jequeri (simplificado de Queiroga et al. 2014), exibindo a localização das amostras estudadas.....	15
Figura 3.2 - Detalhes do granulito máfico do Complexo Juiz de Fora.	16
Figura 3.3 - Detalhes do paragneisse granatífero do Grupo Andrelândia.....	18
Figura 3.4 - Detalhes do paragneisse granatífero do Grupo Andrelândia.....	18
Figura 3.5 - Detalhes do paragneisse granatífero do Grupo Andrelândia.....	19
Figura 3.6 - Representação da lâmina delgada da amostra QP21 indicando os campos analisados.....	20
Figura 3.7 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de clinopiroxênio presentes na lâmina QP21 e os pontos analisados.	21
Figura 3.8 - Diagrama ternário Fs-Wo- En para classificação de clinopiroxênio da lâmina QP21	21
Figura 3.9 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de ortopiroxênio presentes na lâmina QP21 e os pontos analisados	24
Figura 3.10 - Diagrama ternário Fs-Wo- En para classificação de ortopiroxênio da lâmina QP21	24
Figura 3.11 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de hornblenda presentes na lâmina QP21 e os pontos analisados	27
Figura 3.12 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de granada presentes na lâmina QP21 e os pontos analisados.	30
Figura 3.13 - Gráficos indicando as proporções no cristal de granada 1, campo 1 da amostra QP21.	31
Figura 3.14 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de plagioclásio presentes na lâmina QP21 e os pontos analisados	35
Figura 3.15 - Diagrama ternário Ab-An-Or classificatório para os cristais de plagioclásio da lâmina QP21	35
Figura 3.16 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de ilmenita presentes na lâmina QP21 e os pontos analisados.	38
Figura 3.17 - Representação da lâmina delgada da amostra CF02 indicando os campos analisados.....	39

Figura 3.18 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de sillimanita presentes na lâmina CF02 e os pontos analisados.....	40
Figura 3.19 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de plagioclásio presentes na lâmina CF02 e os pontos analisados.....	41
Figura 3.20 - Diagrama ternário Ab-An-Or classificatório para os cristais de plagioclásio da lâmina CF02.	41
Figura 3.21 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de biotita presentes na lâmina CF02 e os pontos analisados.....	44
Figura 3.22 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de K-feldspato presentes na lâmina CF02 e os pontos analisados.....	47
Figura 3.23 - Diagrama ternário Ab-An-Or classificatório para os cristais de ortoclásio da lâmina CF02.	47
Figura 3.24 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de granada presentes na lâmina CF02 e os pontos analisados.....	49
Figura 3.25 - Gráficos indicando as proporções no cristal de granada 1, campo 2 da amostra CF02.....	50

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 - Relação dos campos, minerais e pontos analisados na amostra QP21.....	20
Quadro 3.2 - Resultado de análise química mineral em clinopiroxênio do granulito máfico (amostra QP21).....	22
Quadro 3.3 - Resultado de análise química mineral em ortopiroxênio do granulito máfico (amostra QP21).....	25
Quadro 3.4 - Resultado de análise química mineral em hornblenda do granulito máfico (amostra QP21).....	28
Quadro 3.5 - Resultado de análise química mineral em granada do granulito máfico (amostra QP21).....	32
Quadro 3.6 - Resultado de análise química mineral em plagioclásio do granulito máfico (amostra QP21).....	36
Quadro 3.7 - Resultado de análise química mineral em ilmenita do granulito máfico (amostra QP21).....	38
Quadro 3.8 - Relação dos campos, minerais e pontos analisados na amostra CF02.....	39
Quadro 3.9 - Resultado de análise química mineral em sillimanita do paragnaisse granatífero (amostra CF02).....	40
Quadro 3.10 - Resultado de análise química mineral em plagioclásio do paragnaisse granatífero (amostra CF02).....	42
Quadro 3.11 - Resultado de análise química mineral em biotita do paragnaisse granatífero (amostra CF02).....	45
Quadro 3.12 - Resultado de análise química mineral em K-feldspato do paragnaisse granatífero (amostra CF02).....	48
Quadro 3.13 - Resultado de análise química mineral em granada do paragnaisse granatífero (amostra CF02).....	51

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Organização das lâminas petrográficas estudadas.....	4
Tabela 1.2 - Especificações da rotina analítica utilizada nas análises químicas.	5
Tabela 2.1 - Resumo das principais características das unidades estratigráficas encontradas no domínio da Folha Jequeri 1:50.000.	11
Tabela 3.1 - Temperaturas da amostra QP21 encontradas a través do par mineral ortopiroxênio-granada	54
Tabela 3.2 - Temperaturas da amostra CF 02 encontradas a través do par mineral granada-biotita.....	54
Tabela 3.3 - Geotermobarometria da amostra de paragnaisse granatífero (CF02) do Grupo Andrelândia.	56

Resumo

Esta monografia apresenta os resultados de estudos petrográficos, de química mineral e geotermobarométricos de granulitos, máfico e aluminoso, do Complexo Juiz de Fora e Grupo Andrelândia, respectivamente, aflorantes na Folha Jequeri (1:50.000), na Zona da Mata mineira. O Complexo Juiz de Fora foi definido inicialmente como uma extensa faixa de rochas granulíticas, de direção NE-SW, que aflora próximo à cidade homônima enquanto o Grupo Andrelândia foi definido inicialmente como uma associação de rochas metassedimentares e metaígneas máficas que bordejam o limite sul-sudeste do Cráton do São Francisco. O granulito máfico estudado neste trabalho é composto essencialmente por plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio, hornblenda e granada enquanto o granulito aluminoso é composto por plagioclásio, quartzo, granada, biotita e silimanita. Tanto a análise petrográfica (qualitativa) quanto a geotermobarometria (quantitativa) evidenciam que as amostras foram metamorfizadas em fácies granulito. A análise de química mineral evidenciou que os cristais de granada do granulito máfico são compostos predominantemente por almandina, seguida por grossulária, piropo e espessartita enquanto os do granulito aluminoso são compostos predominantemente por almandina, seguida por piropo, grossulária e espessartita. Os cristais de plagioclásio são de andesina em ambos os granulitos. O clinopiroxênio corresponde à série do diopsídio-hedembergita e o ortopiroxênio é o hiperstênio. Estudos termométricos realizados na amostra de granulito máfico (lâmina QP21), utilizando o par ortopiroxênio-granada, resultaram em valores entre 789,47 e 824,6 °C na borda dos cristais e 860,37 e 881,2 °C no núcleo, compatível com a fácies granulito. Para a amostra de paragnaisse granatífero (lâmina CF02) foram realizados os cálculos termométricos a partir do par granada-biotita que geraram valores de 656-721 °C para a borda dos cristais e 697 e 746 °C para o núcleo, caracterizando a fácies anfíbolito superior a granulito. Cálculos geotermobarométricos realizados no granulito aluminoso (amostra CF02), utilizando o *average P* e o *average T* do THERMOCALC resultaram em valores de temperatura entre 924±38°C e 1004°±76°C, com pouca variação do núcleo para a borda, e em valores de pressão entre 6,12±1,46 e 7,13±2,04kbar, típicos de fácies granulito e condizentes com a análise qualitativa previamente realizada.

Palavras-chave: petrogênese, química mineral, termobarometria, rochas granulíticas, Complexo Juiz de Fora, Grupo Andrelândia, Folha Jequeri 1:50.000

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O presente trabalho traz um estudo petrográfico, microquímico e termobarométrico de detalhe de rochas granulíticas da Folha Jequeri (1:50.000, Queiroga *et al.* 2014), pertencentes ao Complexo Juiz de Fora e ao Grupo Andrelândia, encontrados na região de Santo Antônio do Grama – Jequeri/MG. De acordo com Ellis (1987) e Winter (2001), granulitos são rochas metamórficas constituídas por paragêneses minerais comumente anidras formadas em temperaturas superiores a 700°C e em profundidades que variam de 25 a 40 km. Para que haja a formação desses litotipos e posterior exposição na superfície terrestre, é necessária uma combinação de eventos geológicos relacionados ao posicionamento dos protólitos dessas rochas em profundidades (Ashwal *et al.* 1992).

O Grupo Andrelândia foi definido originalmente por Ebert (1956) como uma associação de rochas metassedimentares e metaígneas máficas que bordejam o limite sul-sudeste do Cráton do São Francisco. O litotipo predominante da unidade é um paragnaisse derivado de sedimentos pelito-grauvaqueanos (Heilbron *et al.* 1998). O termo “Série Juiz de Fora” foi aplicado inicialmente por Ebert (1955) para designar uma extensa faixa de rochas granulíticas, de direção NE-SW, que aflora próximo à cidade homônima. Posteriormente, Heilbron (1993, 1995) e Heilbron *et al.* (1998), redefiniram o Complexo Juiz de Fora como uma unidade constituída por ortognaisses e metabasitos com paragêneses de fácies granulito que tem como litotipo característico um ortognaisse enderbítico e migmatítico. Neste trabalho será estudado um granulito máfico pertencente ao Complexo Juiz de Fora e um paragnaisse granatífero pertencente ao Grupo Andrelândia.

O estudo dessas rochas trará avanços para a compreensão da evolução do Grupo Andrelândia e do Complexo Juiz de Fora e das condições do metamorfismo ao qual essas rochas foram submetidas. Dessa forma, os dados aqui apresentados incluirão informações importantes de pressão e temperatura do metamorfismo dessas rochas que são inéditos até então na área da Folha Jequeri 1:50.000.

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) está inserido na linha de pesquisa “Petrologia de rochas ígneas e metamórficas” do Departamento de Geologia da Escola de Minas (DEGEO-EM). Apoio laboratorial para o desenvolvimento do trabalho se deve ao DEGEO, através dos laboratórios de Microscopia da Graduação e Pós-Graduação e Microscopia e Microanálises, setor microsonda eletrônica (LMIC). A pesquisa também contou com o financiamento dos seguintes órgãos de fomento: (i) FAPEMIG, através do projeto nº APQ-02811-21 coordenado pela orientadora do TCC e, (ii) CNPq, através da bolsa de produtividade em pesquisa PQ-1D de G. Queiroga.

1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A Folha Jequeri é delimitada pelas coordenadas 20°15'S – 20°30'S e 42°30'W – 42°45'W. A área coberta por esta folha está totalmente contida na região leste do Estado de Minas Gerais – Zona da Mata Mineira – abrangendo parte dos municípios de Piedade de Ponte Nova, Rio Casca, São Pedro dos Ferros, Urucânia, Santo Antônio do Grama, Abre Campo, Ponte Nova, Jequeri, Sericita e Amparo da Serra (Figura 1.1). As principais cidades da área mapeada são Urucânia, no extremo oeste, Santo Antônio do Grama, na porção centro-norte e Jequeri, no sudoeste da folha. Os povoados mais importantes são Piscamba e Grota.

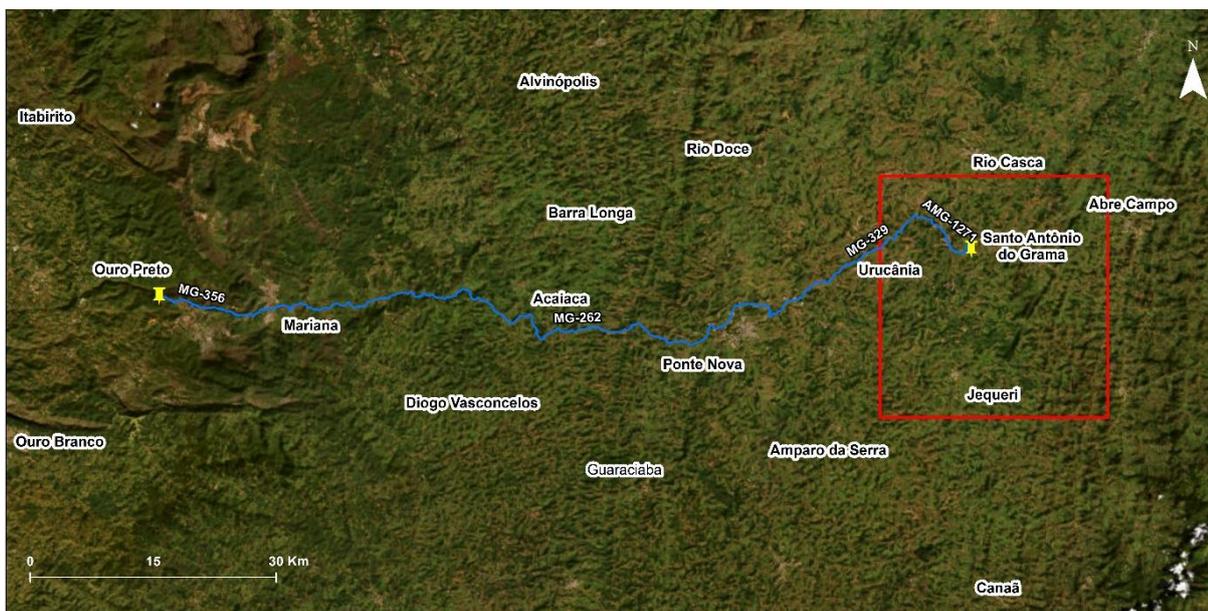


Figura 0.1 - Mapa de localização e vias de acesso para a área de estudo. Em vermelho: limite da Folha Jequeri (1:50.000) e em azul: melhor rota para acesso à área de estudo. Fonte: Google Earth, último acesso em 20/08/2023.

A rede viária para o acesso à área estudada é constituída por rodovias federais e estaduais, dentre as quais se destacam BR- 356 (Ouro Preto – Ponte Nova) e MG-329 (Ponte Nova – Rio Casca). Para chegar em Piedade de Ponte Nova – MG a partir de Ouro Preto – MG deve-se acessar a rodovia MG-356 sentido Mariana-MG, onde o acesso passa a ser pela MG-262 até a cidade de Ponte Nova - MG. Em Ponte Nova - MG acessa-se a Rodovia Rio Casca até a rodovia MG-329. Da rodovia MG-329 deve-se seguir até o acesso da rodovia AMG-1271, que levará ao seu destino em Santo Antônio do Grama - MG (Figura 1.1).

1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste TCC é determinar as condições de pressão e temperatura do metamorfismo sofrido por duas rochas granulíticas com protólitos distintos associados ao Complexo Juiz de Fora e ao Grupo Andrelândia do Orógeno Araçuai meridional, através de uma análise petrográfica, microquímica e termobarométrica dessas rochas.

1.4 METODOLOGIA

Este TCC inclui etapas que se sobrepuseram, conforme sintetizado no organograma da Figura 1.2.

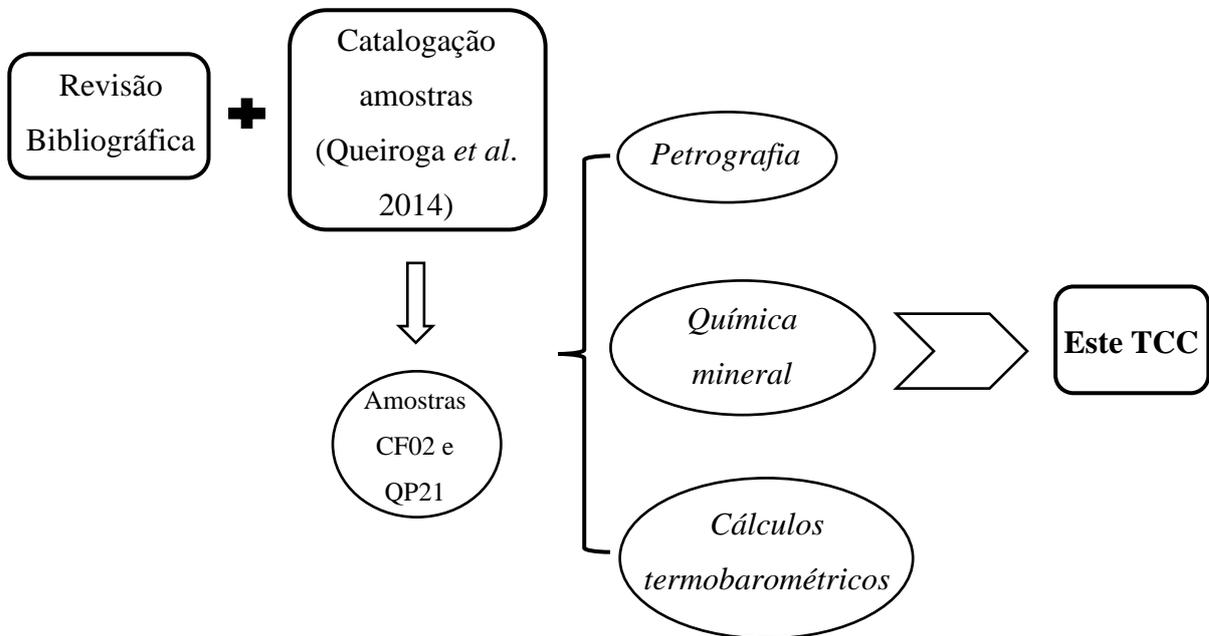


Figura 1.2 - Organograma ilustrando a metodologia adotada neste trabalho.

1.4.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica foi realizada de forma que envolvesse os aspectos da geologia regional da Folha Jequeri (1:50.000) e suas rochas associadas. Além disso, realizou-se um levantamento geral sobre química mineral e classificação de rochas gnáissicas paraderivadas e granulitos máficos. Esta revisão também envolveu uma pesquisa sobre as características ópticas e metamórficas dos minerais encontrados nas amostras analisadas.

Além disso, foram realizadas revisões gerais sobre o Paleocontinente São Francisco-Congo e o Sistema Orogênico Araçuai, de idade riaciana-orosiana, que possui rochas sincrônicas tanto na porção brasileira como na contraparte africana.

1.4.2 Catalogação e organização das lâminas petrográficas

As lâminas descritas neste trabalho pertencem ao acervo da orientadora deste trabalho e foram confeccionadas no âmbito do trabalho de Queiroga *et al.* (2014). De acordo com a caracterização mineralógica e microestrutural das amostras de paragnaisse granatífero e granulito máfico realizada sob microscópio óptico binocular, as amostras foram separadas e classificadas de acordo com a tabela abaixo.

Tabela 1.1 – Organização das lâminas petrográficas estudadas.

Lâmina	Unidade
<i>CF02</i>	Paragnaisse granatífero pertencente ao Grupo Andrelândia
<i>QP21</i>	Granulito máfico do Complexo Juiz de Fora

1.4.3 Análise petrográfica das amostras

As lâminas petrográficas foram descritas com o objetivo de identificar as principais microestruturas, composição mineralógica e paragéneses mineral. Para essas descrições, utilizou-se um microscópio binocular Leica, sob luz transmitida. Associada às descrições, foram realizadas fotomicrografias a partir de um microscópio ZEISS acoplado à câmera AxioCAM Erc5s do Laboratório de Microscopia da Pós-Graduação – DEGEO/UFOP. As abreviações minerais utilizadas seguiram as normas internacionais de Whitney & Evans (2010).

1.4.4 Obtenção e tratamento de dados de química mineral e geotermobarometria

As análises de química mineral foram realizadas nas 2 amostras descritas e englobaram rotinas em plagioclásio, ortoclásio, granada, sillimanita, biotita, clinopiroxênio, ortopiroxênio, hornblenda e ilmenita. As análises foram realizadas em microsonda eletrônica da marca JEOL, modelo JXA-8230, equipada com 5 espectrômetros WDS e 1 EDS, no Laboratório de Microscopia e Microanálises (LMIC) do DEGEO. As condições analíticas incluem 15kV de voltagem, 20nA de corrente e feixe entre 2-5µm. Imagens de elétrons retro-espalhados (BSE, backscattered electrons image) foram geradas para os campos analisados. Todo o ferro obtido nas análises encontra-se sob a forma de Fe⁺². Os elementos

analisados, cristais associados a cada espectrômetro WDS e padrões utilizados na rotina da sessão analítica encontram-se na Tabela 1.2.

Tabela 1.2 – Especificações da rotina analítica utilizada nas análises químicas. TAP- cristal de Ftalato Ácido de Tálcio (*Thallium acid phthalate*); PET – cristal de Pentaeritritol (*Pentaerythritol crystal*); LIF- cristal de Fluoreto de Lítio (*Lithium fluoride crystal*).

Elemento	Cristal	Padrão
Na	TAPH	Anortoclásio
Si	TAP	Quartzo
Al	TAP	Coríndon
Mg	TAP	Olivina
Fe	LIFH	Magnetita
Ti	PETJ	Rutilo
Ca e P	PETJ	Flúor-Apatita
K	PETL	Microclina
Mn	LIFL	MnO
F	TAPH	Apatita
Ba	PETH	Barita
Cl	PETH	Escapolita
Cr	PETL	Cromita
Sr	PETJ	Strontianita

Os dados microquímicos foram tratados em planilhas do Excel desenvolvidas pela orientadora, em algumas presentes no site <https://www.gabbrosoft.org/spreadsheets/>, e também através do Programa

Minpet 2.02 (para os cálculos de anfibólio). No cálculo das fórmulas minerais, foram considerados 8 oxigênios para os feldspatos, 12 oxigênios para a granada, 6 oxigênios para os piroxênios, 5 oxigênios para a sillimanita, 22 oxigênios equivalentes para a biotita e 23 oxigênios equivalentes para a hornblenda. Os gráficos binários e ternários foram confeccionados pelos programas GCDKit e Excel.

Os cálculos geotermobarométricos foram realizados por: (i) termometria convencional, com base nas reações de troca catiônica entre Fe e Mg, levando-se em consideração os pares minerais granada-ortopiroxênio de Sen & Bhattacharya (1984) para o granulito máfico e biotita-granada de Bhattacharya *et al.* 1992 para o granulito aluminoso, utilizando 6,0 Kbar como pressão estimada; (ii) termometria convencional associada com o barômetro GASP de Holland & Powell (1995) para o granulito aluminoso e, (iii) termobarometria otimizada, com a utilização do modo *average* PT do programa Thermocalc (Holland & Powell 1998), para o granulito aluminoso.

1.4.5 Redação da monografia

A partir da junção e tratamento de todos os dados obtidos, houve a confecção desta monografia que está subdividida da seguinte maneira:

- Capítulo 1: Introduz o tema abordado, apresentando a área de estudo, os objetivos do trabalho e a metodologia utilizada;
- Capítulo 2: Revisa o contexto geológico regional da área de estudo, contando com uma síntese acerca dos trabalhos geológicos produzidos na região;
- Capítulo 3: Apresenta os dados petrográficos, de química mineral e geotermobarométricos, incluindo planilhas e gráficos;
- Capítulo 4: Promove uma discussão acerca dos dados obtidos, finalizando com as conclusões alcançadas por este TCC;
- Capítulo 5: Traz as referências bibliográficas utilizadas no trabalho.

CAPÍTULO 2

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A região da Folha Jequeri (1:50.000), área-alvo do presente estudo, está situada na porção leste do estado de Minas Gerais, Zona da Mata Mineira, no domínio meridional do Orógeno Araçuaí. A área coberta por essa folha contém dois complexos ortognáissicos de médio a alto grau metamórfico, rochas metassedimentares paraderivadas de fácies granulito, anfibolitos e granitoides, além de diques máficos diabasoides e aluviões (Queiroga *et al.* 2014)

De acordo com Queiroga *et al.* (2014), as unidades mais antigas, de idade paleoproterozoica, representam o embasamento do Orógeno e incluem rochas dos complexos Mantiqueira e Juiz de Fora. O contato entre as duas unidades do embasamento é marcado pela Zona de Cisalhamento de Abre Campo, sutura Paleoproterozoica reativada no Neoproterozoico como falha transpressional dextrógena (Figura 2.1). No âmbito deste TCC, serão estudadas amostras associadas ao Complexo Juiz de Fora e ao Grupo Andrelândia que estão localizadas na Figura 2.1. Dessa forma, o Complexo Juiz de Fora é representado por gnaisse enderbítico de coloração esverdeada, migmatítico, cuja composição mineral indica fácies granulito. Corpos de granulito máfico e ultramáfico ocorrem intercalados aos ortognais. A cobertura metassedimentar neoproterozóica (Grupo Andrelândia) está representada por paragnais migmatíticos com intercalações de rocha calcissilicática. Um detalhamento maior acerca da geologia da Folha Jequeri 1:50,000 será realizado no item 2.2.

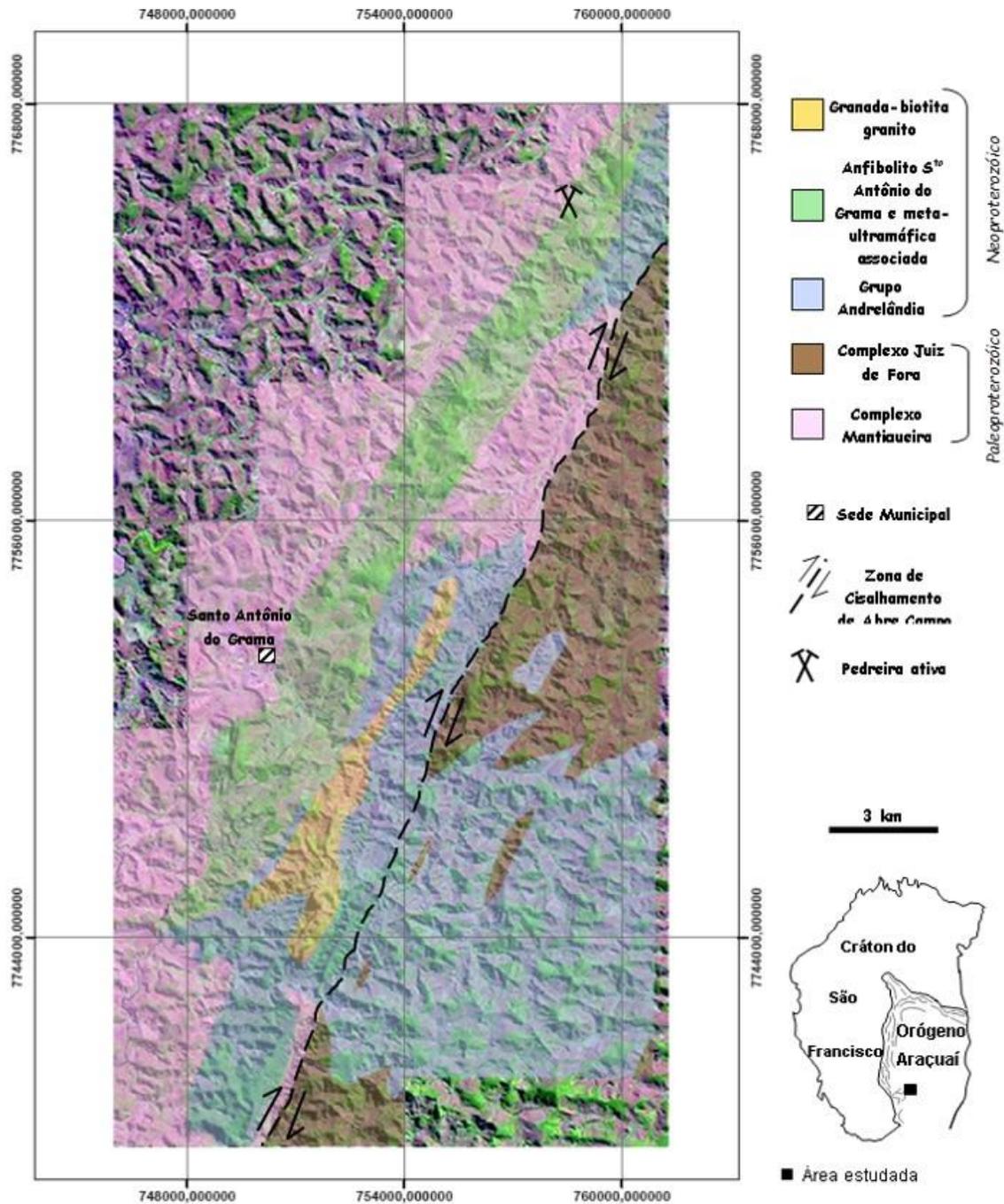


Figura 2.1 - Mapa geológico simplificado, sobreposto à imagem de satélite, da região de estudo de acordo com Queiroga (2010).

2.1.1 O Orógeno Araçuaí

O Orógeno Araçuaí, contraparte brasileira da grande feição orogênica denominada Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, constitui o setor setentrional do sistema orogênico brasileiro denominado

Província Mantiqueira (Brito-Neves *et al.* 1999 in Gradim *et al.* 2011); é limitado a sul pelo Orógeno Ribeira e a norte e oeste pelo Cráton São Francisco (Pedrosa Soares *et al.* 2001, 2007).

Alkmim *et al.* (2006, 2007) apresentam uma compartimentação tectônica detalhada do Orógeno Araçuai, em domínios estruturais, com base na orientação espacial, significado cinemático e história de nucleação das estruturas dominantes (Figura 2.2). Neste TCC será dada ênfase ao Núcleo Cristalino (domínio NC) por conter a área do mapeamento da Folha Jequeri (1:50.000, Queiroga *et al.* 2014). O Núcleo Cristalino, também denominado “zona interna de alto grau metamórfico”, se estende desde a descontinuidade geofísica de Abre Campo até a margem continental brasileira (Figura 2.2).

A Zona de Cisalhamento de Abre Campo baliza o limite entre os complexos ortoderivados paleoproterozoicos Mantiqueira, a oeste, e o Juiz de Fora, a leste. Segundo Alkmim *et al.* (2007), esta zona de cisalhamento pode representar não só uma sutura paleoproterozoica, como indicado pela separação das rochas do embasamento, como uma sutura neoproterozoica, pelo fato de limitar, à oeste, a ocorrência dos granitoides pré-colisionais G1.

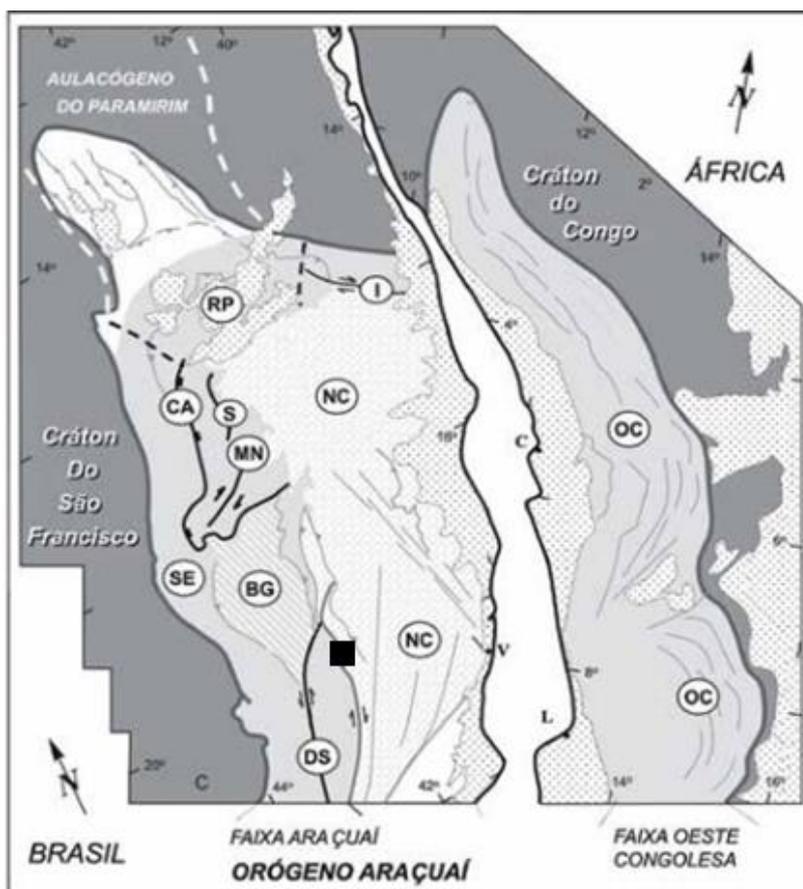


Figura 2.2 - Compartimentos tectônicos do Orógeno Araçuai-Congo Ocidental (Alkmim *et al.* 2007). SE- Cinturão de Cavalgamentos da Serra do Espinhaço Meridional, CA- Zona de Cisalhamento da Chapada Acauã, S- Zona de Dobramentos de Salinas, MN- Corredor Transpressivo de Minas Novas, RP- Saliência do Rio Pardo e zona de interação com o Aulacógeno do Paramirim, BG- Bloco de Guanhães, DS- Zona de Cisalhamento de Dom Silvério, I- Zona de Cisalhamento de Itapebi, NC- Núcleo Cristalino, OC- Faixa Oeste-Congolesa. A área de estudo está destacada em preto.

2.2 SÍNTESE DA ESTRATIGRAFIA REGIONAL

Na área coberta pela Folha Jequeri 1:50.000 (Queiroga *et al.* 2014), ocorrem unidades paleoproterozoicas e neoproterozoicas (Tabela 2.1). As unidades mais antigas incluem rochas dos complexos Mantiqueira e Juiz de Fora. A associação litológica, os dados geoquímicos e isotópicos e a distribuição geográfica de oeste para leste sugerem que estas rochas representem, respectivamente, um arco magmático desenvolvido sobre a margem do Paleocontinente Arqueano e um ou mais arcos magmáticos acrescionários juvenis (Heilbron *et al.* 2003, Noce *et al.* 2007a, b). O conjunto litológico composto por paragnais ricos em plagioclásio do Grupo Andrelândia e pelo grande corpo de orto-anfibolito de Santo Antônio do Grama, de idade neoproterozoica, representa a associação arco-antearco-embasamento descrita por Pedrosa-Soares *et al.* (2007). Granitos intrusivos na área de influência do mapeamento, de idade neoproterozoica, são representados por corpos de leucogranito peraluminoso da Supersuíte G2, tipo S (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Resumo das principais características das unidades estratigráficas encontradas no domínio da Folha Jequeri 1:50.000 (Queiroga *et al.* 2014). Explicação dos dados geocronológicos presentes em Queiroga *et al.* (2014).

Unidade Estratigráfica	Litotipos	Componente Geotectônico	Idades Cristalização (Ma)	Idades Metamorfismo (Ma)
Supersuíte G2 Corpo Serra dos Vieiras	Granito peraluminoso;	Magmatismo sin-colisional	582-560 (U-Pb SHRIMP)	-
	Granito com duas micas e granodiorito subordinados			
Orto-anfibolito Santo Antônio do Grama	Anfibolito de granulação média a grossa	Associação arco-antearco embasamento (provável ofiolito)	595 ± 6 (LA-ICP-MS)	579 ± 6; 560 ± 7 (LA-ICP-MS)
Grupo Andrelândia	Paragnaisse bandado e rocha calcissilicática associada	Associação arco-antearco embasamento (margem passiva)	1000-790	
Complexo Juiz de Fora	Gnaiss enderbítico predominante; charnockito e granulitos máfico e ultramáfico subordinados	Embasamento do Orógeno Araçuai	2119-2084 (U-Pb SHRIMP)	590-574 (U-Pb SHRIMP)
Complexo Mantiqueira	Biotita-anfibólio ortognaisse; lentes e boudins de anfibolito	Embasamento do Orógeno Araçuai	2180-2041 (U-Pb SHRIMP)	590-574 (U-Pb SHRIMP)

2.2.1 Embasamento cristalino

De acordo com Gradim *et al.* (2011), o embasamento cristalino do Orógeno Araçuaí na região da Folha Jequeri (1:50.000) possui uma importante feição morfotectônica, a Zona de Cisalhamento de Abre Campo, de idade neoproterozoica, que separa os domínios maiores do embasamento: a oeste, o Complexo Mantiqueira e, a leste, o Complexo Juiz de Fora. O Complexo Juiz de Fora, de caráter alóctone, apresenta-se justaposto ao Complexo Mantiqueira por meio da Zona de Cisalhamento de Abre Campo (Noce *et al.* 2007a) (Figura 2.1).

2.2.1.1 Complexo Mantiqueira

No Complexo Mantiqueira o litotipo mais comum é um biotita-anfibólio ortognaisse de composição tonalítica a granítica associado a corpos máficos (Noce *et al.* 2007a). Os ortognaisses constituem suítes cálcio-alcalinas e as rochas máficas representam basaltos transicionais (Duarte *et al.* 2004 *in* Noce *et al.* 2007a). Idades U-Pb SHRIMP para a cristalização magmática dos ortognaisses Mantiqueira fornecem resultados entre 2180 e 2041 Ma), idade de metamorfismo no intervalo entre 590 e 574 Ma (Silva *et al.* 2002 *in* Noce *et al.* 2007a, Noce *et al.* 2007b) e as assinaturas isotópicas de Sm e Nd fornecem indícios de que seu ambiente de formação seria o de arco magmático (Fischel *et al.* 1998, Noce *et al.* 2007b). Jordt-Evangelista & Müller (1986), Brandalise (1991) e Figueiredo & Teixeira (1996), através de relações micro-estruturais, demonstraram que os gnaisses bandados Mantiqueira foram deformados e recristalizados sob condições de fácies anfibolito.

2.2.1.2 Complexo Juiz de Fora

O Complexo Juiz de Fora é composto por ortognaisses e metabasitos metamorfizados em fácies granulito e afetados localmente por metamorfismo retrógrado com formação de biotita e hornblenda a partir dos piroxênios (Heilbron 1993, 1995 *in* Noce *et al.* 2007a). Os litotipos característicos dessa unidade são gnaisses enderbíticos de coloração verde escura, mas podem ainda ocorrer gnaisses de composição charnockítica, além de granulitos máficos (Queiroga *et al.* 2014).

Estudos anteriores indicam que os gnaisses enderbíticos e charnockíticos correlacionam-se à suítes cálcio-alcalinas de afinidade juvenil (Fischel *et al.* 1998, Duarte *et al.* 1997 *in* Noce *et al.* 2007a), com idades entre 2134 e 2084 Ma) e idade de metamorfismo no intervalo entre 590 e 574 Ma obtidas através de estudos isotópicos U-Pb (Noce *et al.* 2007b, Heilbron *et al.* 2001 *in* Noce *et al.* 2007a).

2.2.2 Cobertura neoproterozoica

2.2.2.1 Grupo Andrelândia

O Grupo Andrelândia é composto por rochas metamórficas de fácies anfibolito a granulito, com protólitos sedimentares de composição pelítica a psamítica, e idades entre 1000 e 790 Ma (Tupinambá *et al.* 2007). O litotipo predominante da unidade é um paragnaisse derivado de sedimentos pelito-grauvaqueanos (Queiroga *et al.* 2014). Estudos isotópicos desta unidade forneceram idade-modelo Sm-Nd em torno de 1,3 Ga, o que sugere que as fontes sedimentares deste gnaisse teriam pertencido ao arco magmático representado pela supersuíte G1 (Fischel *et al.* 1998 *in* Noce *et al.* 2007a, Noce *et al.* 2006).

2.2.2.2 Orto-anfibolito Santo Antônio do Grama

O termo Anfibolito Santo Antônio do Grama designa um conjunto de corpos lenticulares de anfibolito com protólitos gabróicos (Brandalise 1991 *in* Queiroga *et al.* 2014) localizados nas proximidades da cidade de mesmo nome. A continuidade física do anfibolito Santo Antônio do Grama foi primeiramente demonstrada por Ferreira *et al.* (2007) e foi Fischel (1998) quem obteve a determinação de idade-modelo (TDM) de 900 Ma, na qual o magma original teria sido extraído do manto e intrudido os protólitos dos gnaisses do Complexo Mantiqueira em regime distensivo (Queiroga *et al.* 2014). Queiroga (2010) obteve uma idade U-Pb LA-ICP-MS de 595 ± 6 Ma para a cristalização magmática do protólito do anfibolito Santo Antônio do Grama.

2.2.2.3 Supersuíte G2

A Supersuíte G2 engloba um enorme volume de granitos do tipo S, amalgamados em batólitos, que se originaram no estágio sincolisional do Orógeno Araçuaí. Constitui-se predominantemente de granitos peraluminosos, e, subordinadamente, de granito a duas micas e granodiorito granatífero (Pedrosa-Soares *et al.* 2007b). Estudos isotópicos U-Pb demonstram a idade de 575 Ma, sugerindo ser essa a idade do clímax da granitogênese (Silva *et al.* 2002, 2005 *in* Pedrosa Soares *et al.* 2007, Pedrosa-Soares *et al.* 2006 *in* Pedrosa Soares *et al.* 2007).

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas as descrições de afloramento, amostras de mão e análises petrográficas de dois pontos descritos no âmbito do mapeamento geológico da Folha Jequeri 1:50.000 (convênio CPRM-SUREG BH e UFMG; Queiroga *et al.* 2014) (Figura 3.1). Também são apresentados dados inéditos de química mineral, obtidos exclusivamente para este TCC, sobre amostras de granulitos máfico e aluminoso. E como desdobramento dessas análises, obtiveram-se dados termobarométricos inéditos para esse setor do Orógeno Araçuaí utilizando pares minerais (pelo princípio das reações de troca catiônica) e através de um banco de dados termodinamicamente consistente (programa Thermocalc de Holland & Powell, 1998).

As descrições a seguir serão realizadas levando-se em consideração as idades das duas unidades abordadas neste trabalho – Complexo Juiz de Fora, Paleoproterozoico e Grupo Andrelândia, de idade neoproterozoica.

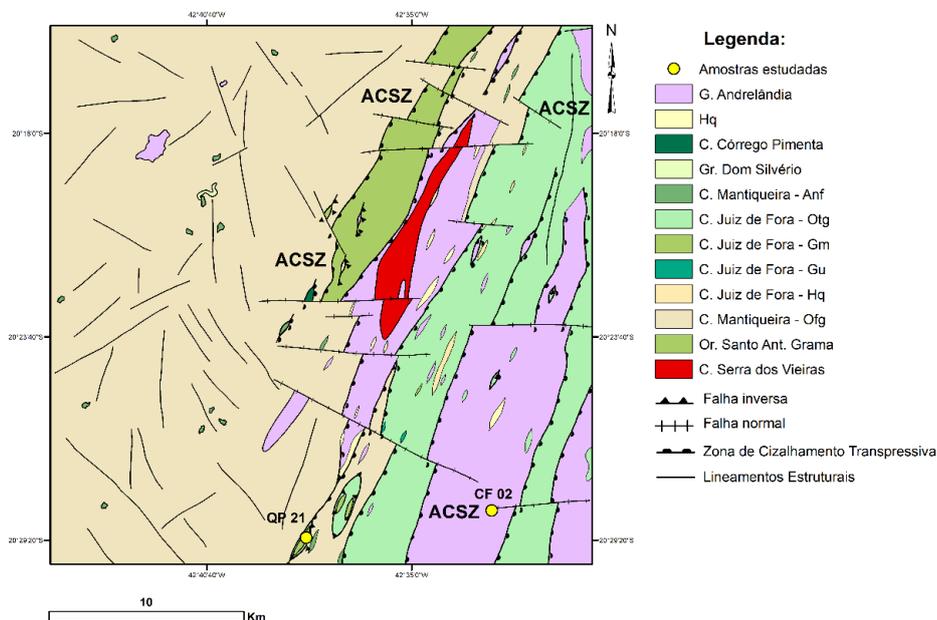


Figura 3.1 - Mapa geológico da Folha Jequeri (simplificado de Queiroga *et al.* 2014), exibindo a localização das amostras estudadas. ACSZ, zona de cisalhamento de Abre Campo. Hq = hidrotermalito quartzoso; Anf = anfibolito; Otg = ortognaisse; Gm = granulito máfico; Gu = granulito ultramáfico; Or = ortoanfibilito.

3.2 DESCRIÇÃO MACRO E MICROSCÓPICA

3.2.1 Complexo Juiz de Fora

Na Folha Jequeri (1:50.000) (Figura 3.1), o Complexo Juiz de Fora é formado por três litotipos principais: ortognaisse enderbítico dominante, granulito máfico e granulito ultramáfico subordinados. Esses litotipos ocorrem em faixas estiradas na direção NE-SW intercaladas tectonicamente com rochas do Grupo Andrelândia e, subordinadamente, com gnaisses do Complexo Mantiqueira, aflorando preferencialmente a leste da Descontinuidade de Abre Campo (Figura 3.1). Também foram mapeadas pequenas escamas deste complexo a oeste da zona de cisalhamento. A unidade aflora sob a forma de lajedos no fundo de vales e/ou em quedas d'água ou na forma de pequenos pães-de-açúcar, e apresenta espesso manto de alteração.

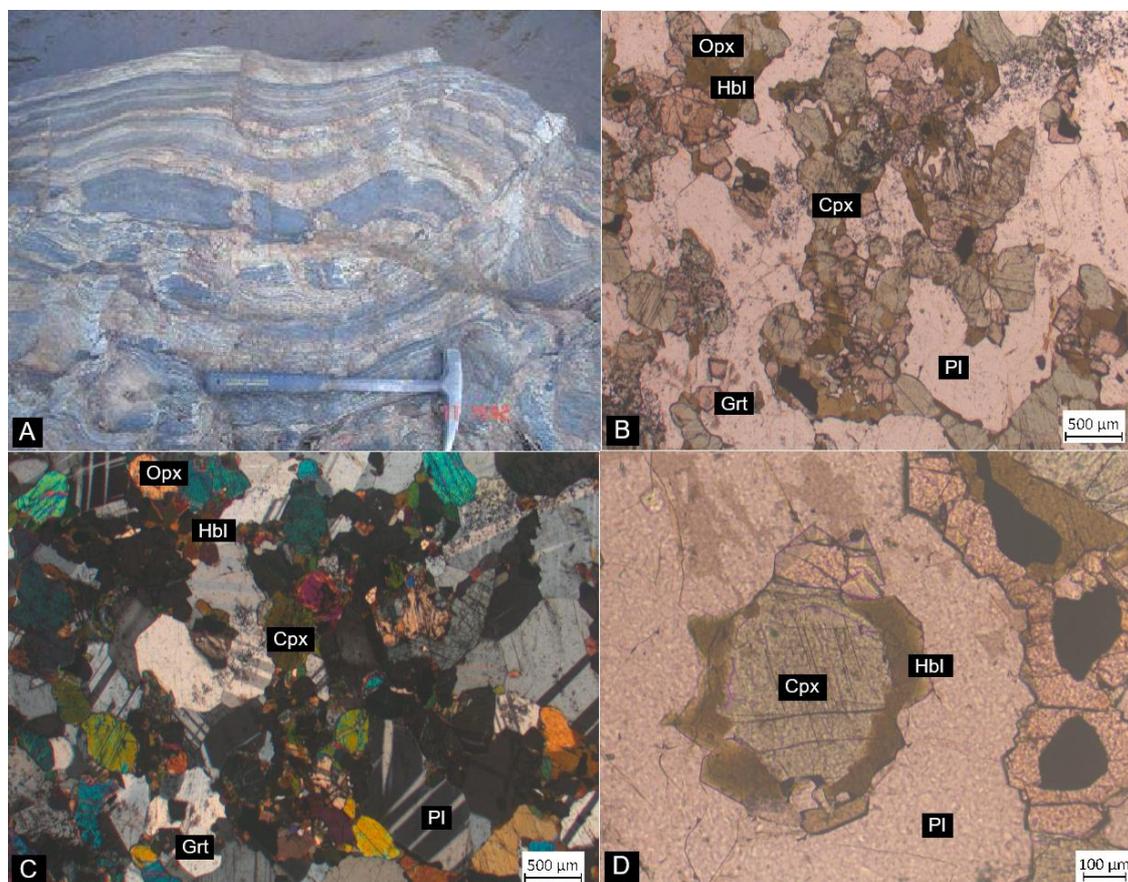


Figura 3.2 - Detalhes do granulito máfico do Complexo Juiz de Fora. A) Boudins de granulito máfico em ortognaisse do Complexo Juiz de Fora. B) Granulito máfico, sob nicóis paralelos, exibindo a associação ortopiroxênio + clinopiroxênio + granada + hornblenda + plagioclásio (lâmina QP21, aumento de 2,5 vezes). C) Granulito máfico, sob nicóis cruzados, exibindo a associação ortopiroxênio + clinopiroxênio + granada + hornblenda + plagioclásio (lâmina QP21, aumento de 2,5 vezes). D) Detalhe clinopiroxênio com borda de hornblenda (uralitização), sob nicóis paralelos (lâmina QP21, aumento de 10 vezes). Opx = ortopiroxênio; Cpx = clinopiroxênio; Grt = granada; Hbl = hornblenda; Pl = plagioclásio.

O granulito máfico do Complexo Juiz de Fora, foco deste TCC, ocorre como intercalação no gnaiss enderbítico, paralelo à foliação regional e ao bandamento. Também forma corpos estirados com direção NE nas proximidades da Zona de Cisalhamento de Abre Campo. A rocha é maciça a fracamente foliada, de coloração verde escura, inequigranular seriada com granulação variando entre fina a média (Figura 3.2a). Apresenta microestrutura granoblástica e a seguinte composição modal: plagioclásio (30%), clinopiroxênio (25%), hornblenda (22%), granada (10%), ortopiroxênio (8%) e opacos – sendo a maioria deles ilmenita (5%) (Figura 3.2b). O plagioclásio apresenta-se com maclas difusas muitas vezes (Figura 3.2c), além de extinção ondulante. O ortopiroxênio é pleocróico em matizes de rosa claro a verde claro enquanto o clinopiroxênio tem pleocroísmo em tons de verde (Figura 3.2b). A hornblenda é um mineral secundário e apresenta-se bordejando o clinopiroxênio (processo de uralitização) (Figura 3.2d). A análise da paragênese mineral da amostra QP21, representante do Complexo Juiz de Fora, indica associação de fácies granulito.

3.2.2 Grupo Andrelândia

O Grupo Andrelândia ocorre sob a forma de camadas tectonicamente interdigitadas tanto a leste quanto a oeste da Zona de Cisalhamento de Abre Campo, em ambos os domínios do embasamento. Essa unidade se caracteriza por espessa cobertura metassedimentar paraderivada, com protólitos pelíticos e/ou grauvaquianos ou ainda associados a uma mistura argilo-carbonatada (marga) (Queiroga *et al.* 2014). Afloramentos desses litotipos podem ser encontrados em lajedos, cortes de estrada e nos leitos de cursos d'água, apresentando, comumente, espesso manto de intemperismo (Queiroga *et al.* 2014).

No Mapa Geológico da Folha Jequeri (1:50.000), o litotipo predominante do Grupo Andrelândia é representado por paragnaisse com eventuais intercalações de rocha calcissilicática (Figura 3.3a). Veios pegmatíticos, não mapeáveis em escala 1:50.000, ocorrem subordinadamente. O paragnaisse granatífero (Figura 3.3b e 3.3c) é uma rocha bandada, migmatizada em diferentes graus, de coloração cinza clara a cinza escura, com bandamento variando de centimétrico a decimétrico. O bandamento e a foliação normalmente são paralelos. A rocha é inequigranular com granulação fina a média, porfiroblástica com acentuada cominuição dos grãos. Apresenta microestrutura granoblástica, nas porções quartzo-feldspáticas, a lepidogranoblástica nas bandas mais micáceas (Figura 3.4a e 3.3b) e a seguinte composição modal: plagioclásio (50%), granada (15%), biotita (15%), quartzo (8%), ortoclásio (5%), sillimanita (2%) e acessórios + opacos (5%) (Figura 3.4). O plagioclásio exhibe maclas acunhadas (Figura 3.5a), difusas e dobradas, extinção ondulante e concêntrica (Figura 3.5b), subgrãos, e contatos interlobados a amebóides. Também se encontra feição de saussuritização e plagioclásios com antipertita, típico da fácies granulito (Figura 3.5d). O quartzo apresenta subgrãos (Figura 3.5c). A sillimanita ocorre como cristais prismáticos alongados (Figura 3.4c e 3.4d). A análise qualitativa do metamorfismo, com

base na associação mineral da amostra CF02, indica recristalização metamórfica do protólito pelítico sob condições de fácies granulito.



Figura 3.3 - Detalhes do paragnaisse granatífero do Grupo Andrelândia. A) Paragnaisse bandado com feições migmatíticas; B) Detalhe das granadas centimétricas, bem formadas, em paragnaisse Andrelândia.

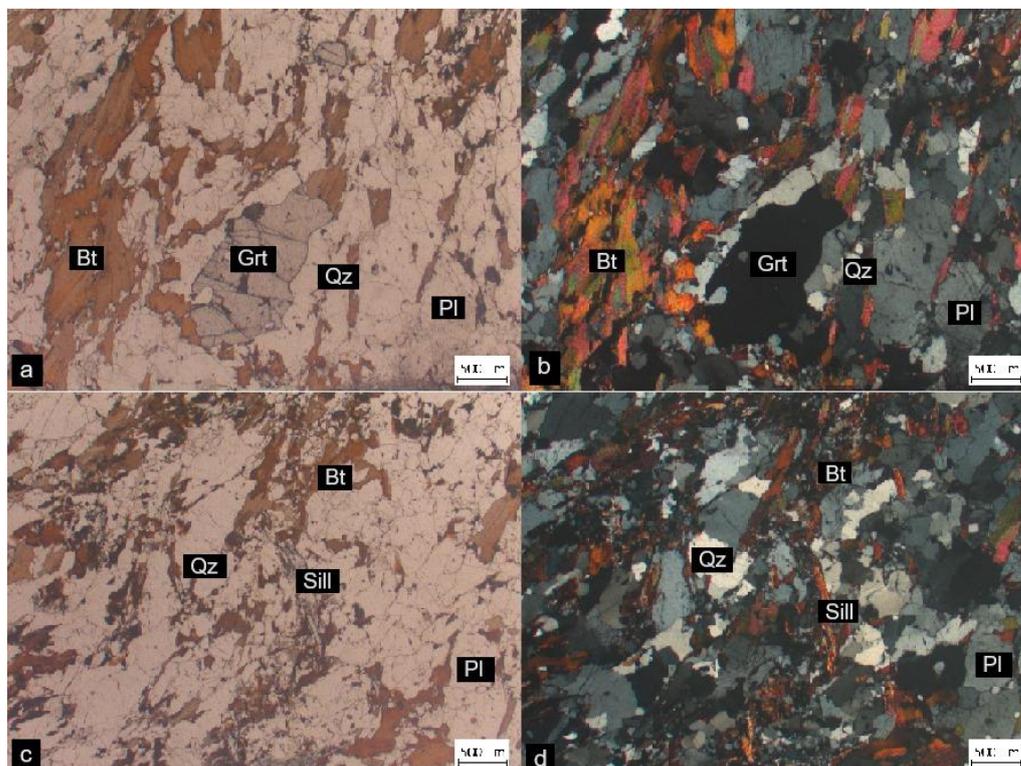


Figura 3.4 - Detalhes do paragnaisse granatífero do Grupo Andrelândia. A) Paragnaisse granatífero a nicóis paralelos, exibindo a associação quartzo+plagioclásio+granada+biotita (lâmina CF02, aumento de 2,5 vezes); B) Paragnaisse granatífero a nicóis cruzados, exibindo a associação quartzo+plagioclásio+granada+biotita (lâmina CF02, aumento de 2,5 vezes); C) Paragnaisse granatífero a nicóis paralelos, exibindo a associação quartzo+plagioclásio+sillimanita+biotita (lâmina CF02, aumento de 2,5 vezes); D) Paragnaisse granatífero a nicóis cruzados, exibindo a associação quartzo+plagioclásio+sillimanita+biotita (lâmina CF02, aumento de 2,5 vezes); Qz = quartzo; Bt = biotita; Grt = granada; Pl = plagioclásio; Sill = sillimanita; Kfs = k-feldspato.

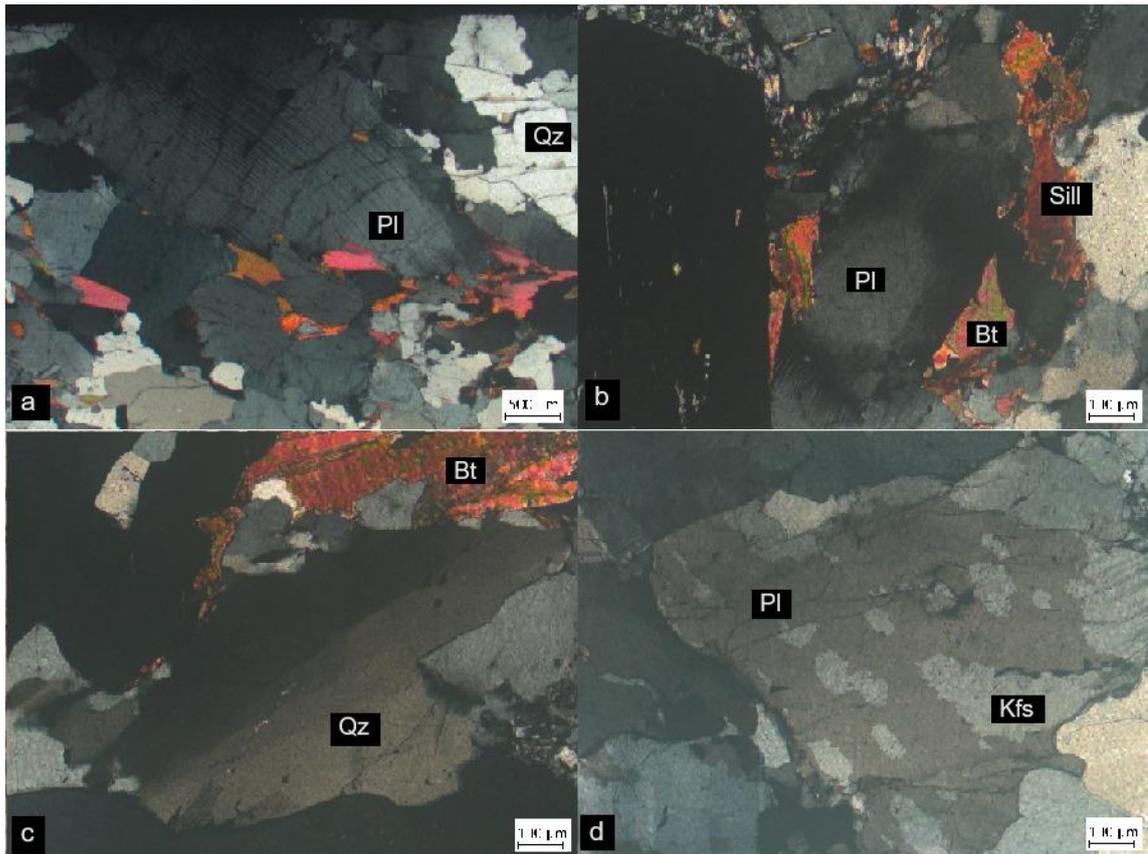


Figura 3.5 - Detalhes do paragnaisse granatífero do Grupo Andrelândia. A) Detalhe de plagioclásio com maclas acunhadas (lâmina CF02, aumento de 2,5 vezes); B) Detalhe de plagioclásio com extinção concêntrica (lâmina CF02, aumento de 10 vezes); C) Detalhe de quartzo com subgrãos (lâmina CF02, aumento de 10 vezes); D) Detalhe de plagioclásio com antipertita (exsolução de K-feldspato em plagioclásio) (lâmina CF02, aumento de 10 vezes). Qz = quartzo; Bt = biotita; Grt = granada; Pl = plagioclásio; Sill = sillimanita; Kfs = k-feldspato.

3.3 QUÍMICA MINERAL

Os estudos de química mineral foram realizados sobre as mesmas duas amostras descritas no item 3.2, uma do granulito máfico e outra do paragnaisse granatífero, lâminas QP21 e CF02, respectivamente. As análises foram realizadas em microsonda eletrônica da marca JEOL, modelo JXA-8230, no Laboratório de Microanálises da UFOP, conforme metodologia descrita no item 1.4.4.

3.3.1 Complexo Juiz de Fora

A lâmina QP21 foi dividida em dois campos enumerados 1 e 2, conforme a Figura 3.6.

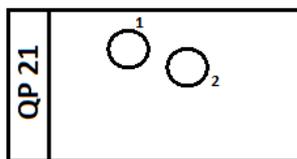


Figura 3.6 - Representação da lâmina delgada da amostra QP21 indicando os campos analisados.

Na amostra de granulito máfico foram analisados cristais de clinopiroxênio, ortopiroxênio, hornblenda, granada, ilmenita e plagioclásio em ambos os campos, conforme indicado pelo Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Relação dos campos, minerais e pontos analisados na amostra QP21. *Numeração original fornecida pelo Laboratório de Microscopia e Microanálises, setor de microsonda eletrônica. Cpx = clinopiroxênio; Opx = ortopiroxênio; Hbl = hornblenda; Grt = granada; Ilm = ilmenita; Pl = plagioclásio.

QP21	Mineral	Pontos*
Campo 1	Cpx 1	1-6
	Opx 1	7-13
	Hbl 1	14-17
	Grt 1	18-25
	Grt 2	26-30
	Ilm 1	31-32
	Pl 1	33-37
Campo 2	Cpx 2	38-43
	Opx 2	44-49
	Hbl 2	50-56
	Grt 3	57-60
	Grt 4	61-65
	Pl 2	66-70
	Ilm 2	71-72

3.3.1.1 Clinopiroxênio

O clinopiroxênio foi analisado em dois grãos, um em cada campo. Em ambos os campos têm-se 6 pontos, sendo o campo 1 do 1 ao 6 e o campo 2 do 38 ao 43, conforme ilustrado na Figura 3.7. Os resultados da análise podem ser observados no Quadro 3.2.

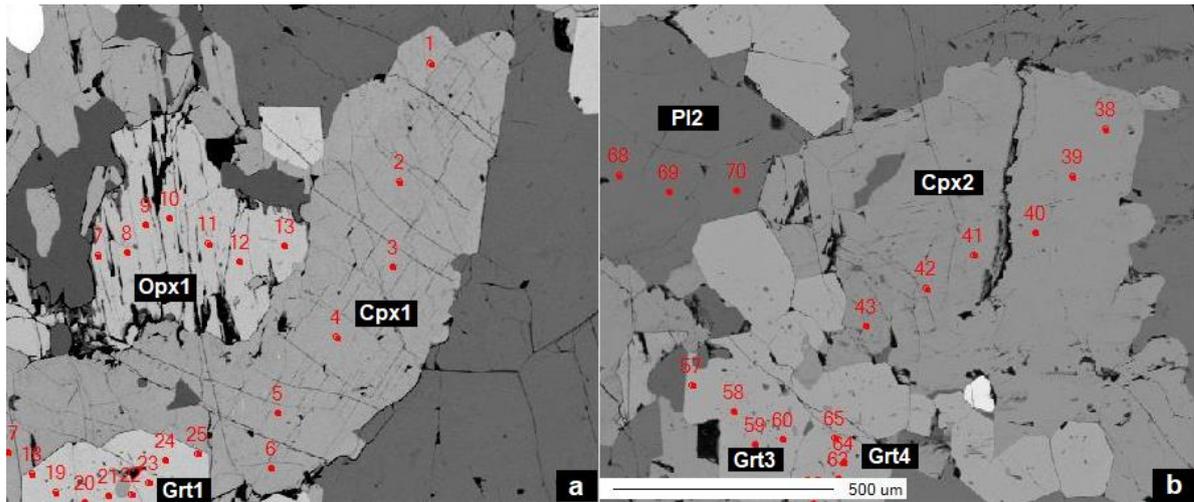


Figura 3.7 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de clinopiroxênio presentes na lâmina QP21 e os pontos analisados (A) no campo 1 (1 a 6*) e (B) no campo 2 (38 a 43*). *Numeração original fornecida pelo LMIC.

A fórmula unitária calculada para o clinopiroxênio é $(\text{Ca}_{0,44-0,88}\text{Na}_{0,04-0,13})(\text{Mg}_{0,50-0,70}\text{Fe}_{0,34-0,55}\text{Al}_{0,07-0,56}\text{Ti}_{0-0,06}\text{Mn}_{0-0,1})\text{Si}_{1,73-2,0}\text{O}_6$. Em todos os grãos observa-se uma predominância de moléculas de wollastonita (29-47%), seguida por moléculas de enstatita (33-37%) e em menor parte por ferrossilita (18-37%). Sendo assim, os clinopiroxênios em questão plotam no campo do diopsídio e hedembergita, com 1 ponto plotado no limite entre Ca-augita e hedembergita e outro, pobre em Ca (ponto 1 do campo 1, Quadro 3.2), no campo da augita (Deer *et al.* 1992) (Figura 3.8).

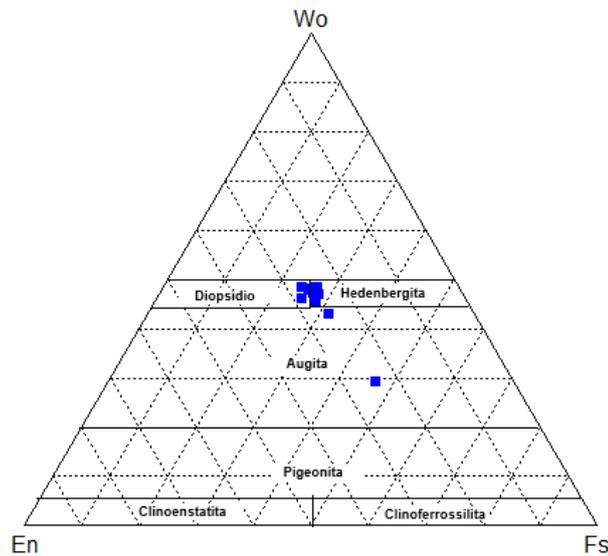


Figura 3.8 - Diagrama ternário Fs-Wo- En para classificação de clinopiroxênio da lâmina QP21 (Deer *et al.* 1992). Fs=ferrossilita, Wo=wolastonita, En=enstatita.

Quadro 3.2 - Resultado de análise química mineral em clinopiroxênio do granulito máfico (amostra QP21). Cpx = clinopiroxênio; Intermed = intermediário.

	Amostra	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21
	Campo	1	1	1	1	1	1
	Cpx	1	1	1	1	1	1
	Ponto	1	2	3	4	5	6
	Posição	Borda	Intermed.	Núcleo/Intermed.	Núcleo/Intermed.	Intermed.	Borda
Óxidos (peso %)	SiO ₂	44.96	52.03	52.91	52.46	52.40	52.72
	TiO ₂	2.11	0.21	0.20	0.16	0.26	0.20
	Al ₂ O ₃	12.38	2.15	2.17	1.87	2.13	2.09
	FeO	17.03	12.00	13.90	11.83	12.25	11.84
	MgO	8.72	11.03	11.11	11.28	11.09	11.46
	MnO	0.07	0.19	0.22	0.09	0.18	0.16
	CaO	10.63	21.62	18.82	21.09	20.56	20.80
	Na ₂ O	1.73	0.57	0.61	0.63	0.66	0.62
	K ₂ O	0.64	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
	Total	98.28	99.80	99.94	99.42	99.53	99.88
Cátions (6 oxigênios)	Si	1.73	1.97	2.00	1.99	1.98	1.98
	Ti	0.06	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
	Al	0.56	0.10	0.10	0.08	0.10	0.09
	Fe	0.55	0.38	0.44	0.37	0.39	0.37
	Mg	0.50	0.62	0.62	0.64	0.63	0.64
	Mn	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
	Ca	0.44	0.88	0.76	0.86	0.83	0.84
	Na	0.13	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05
	K	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Membros Finais	XMg	0.34	0.33	0.34	0.34	0.34	0.35
	XFe	0.37	0.20	0.24	0.20	0.21	0.20
	XCa	0.29	0.47	0.42	0.46	0.45	0.45

Quadro 3.2 – (continuação) Resultado de análise química mineral em clinopiroxênio do granulito máfico (amostra QP21). Cpx = clinopiroxênio; Intermed = intermediário.

	Amostra	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21
	Campo	2	2	2	2	2	2
	Cpx	2	2	2	2	2	2
	Ponto	38	39	40	41	42	43
	Posição	Borda	Intermed.	Núcleo/Intermed.	Núcleo/Intermed.	Intermed.	Borda
Óxidos (peso %)	SiO ₂	52.24	52.72	52.62	52.40	52.03	53.20
	TiO ₂	0.19	0.20	0.20	0.32	0.19	0.13
	Al ₂ O ₃	1.87	1.78	1.85	2.41	2.04	1.62
	FeO	11.36	11.31	12.06	12.35	11.72	10.71
	MgO	11.57	12.59	11.46	11.54	11.52	12.05
	MnO	0.15	0.16	0.17	0.17	0.08	0.10
	CaO	21.00	20.51	20.68	19.87	21.45	21.27
	Na ₂ O	0.61	0.60	0.69	0.71	0.60	0.56
	K ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
	Total	98.99	99.87	99.71	99.82	99.62	99.63
Cátions (6 oxigênios)	Si	1.98	1.98	1.99	1.97	1.97	2.00
	Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
	Al	0.08	0.08	0.08	0.11	0.09	0.07
	Fe	0.36	0.36	0.38	0.39	0.37	0.34
	Mg	0.65	0.70	0.64	0.65	0.65	0.67
	Mn	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
	Ca	0.85	0.83	0.84	0.80	0.87	0.86
	Na	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04
	K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Membros Finais	XMg	0.35	0.37	0.35	0.35	0.34	0.36
	XFe	0.19	0.19	0.20	0.21	0.20	0.18
	XCa	0.46	0.44	0.45	0.44	0.46	0.46

3.3.1.2 Ortopiroxênio

O ortopiroxênio foi analisado em dois grãos, um em cada campo. No campo 1 foram analisados 7 pontos, enumerados do 7 ao 13 enquanto no campo 2 foram analisados 6 pontos, do 44 ao 49, conforme ilustrado na Figura 3.9. Os resultados da análise podem ser observados no Quadro 3.3.

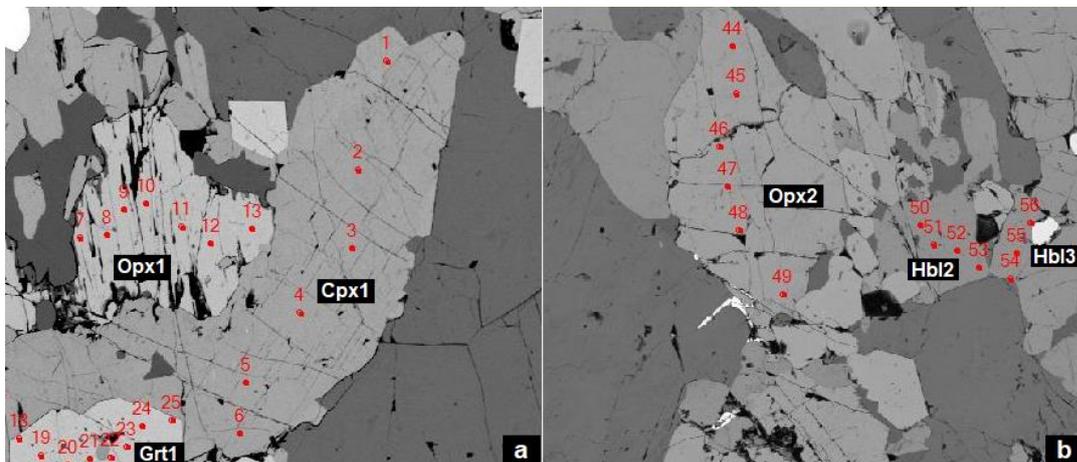


Figura 3.9 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de ortopiroxênio presentes na lâmina QP21 e os pontos analisados (A) no campo 1 (7 a 13*) e (B) no campo 2 (44 a 49*). *Numeração original fornecida pelo LMic.

A fórmula unitária encontrada para o ortopiroxênio é $(Ca_{0,02-0,05})(Fe_{0,95-1,0}Mg_{0,90-0,94}Al_{0,04-0,05}Mn_{0,1}Si_{1,99-2,0}O_6$. Em todos os grãos observa-se uma predominância de moléculas de ferrossilita (49-52%), seguida por moléculas de enstatita (47-49%) e em menor parte por wolastonita (1-3%). Sendo assim, os ortopiroxênios em questão são classificados como hiperstênio, tendendo à ferrossilita (Deer *et al.* 1992), como observado na Figura 3.10.

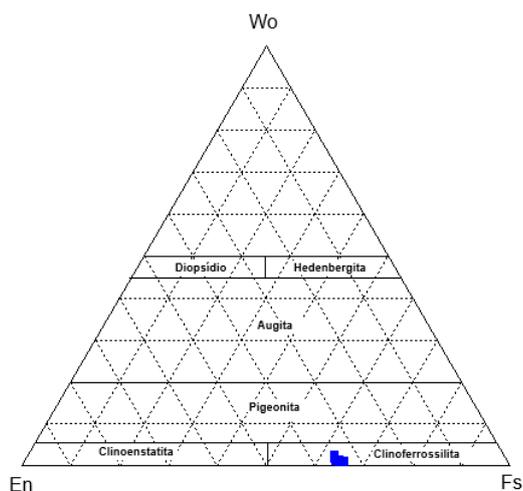


Figura 3.10 - Diagrama ternário Fs-Wo- En de classificação para os ortopiroxênios da lâmina QP 21 (Deer *et al.* 1992). Fs=ferrossilita, Wo=wolastonita, En=enstatita.

Quadro 3.3 - Resultado de análise química mineral em ortopiroxênio do granulito máfico (amostra QP21). Opx = ortopiroxênio; Intermed = intermediário.

	Amostra	QP 21	QP 21	QP 21	QP 21	QP 21	QP 21	QP 21
	Campo	1	1	1	1	1	1	1
	Opx	1	1	1	1	1	1	1
	Ponto	7	8	9	10	11	12	13
	Posição	Borda	Intermed.	Intermed.	Intermed.	Núcleo	Intermed.	Borda
Óxidos (peso %)	SiO₂	51.15	51.04	51.37	51.08	51.31	51.39	51.32
	TiO₂	0.04	0.06	0.07	0.13	0.07	0.11	0.10
	Al₂O₃	0.92	1.03	0.86	0.90	1.01	1.00	0.92
	FeO	30.29	30.20	30.20	30.20	30.47	30.81	30.53
	MgO	16.14	16.04	16.32	16.03	16.00	15.65	15.62
	MnO	0.32	0.37	0.36	0.35	0.39	0.41	0.35
	CaO	0.45	0.46	0.52	0.49	0.39	0.46	0.40
	Na₂O	0.03	0.04	0.04	0.01	0.03	0.00	0.03
	K₂O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total	99.36	99.23	99.72	99.18	99.67	99.83	99.27
Cátions (6 oxigênios)	Si	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	2.00
	Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Al	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04
	Fe	0.99	0.98	0.98	0.99	0.99	1.00	1.00
	Mg	0.94	0.93	0.94	0.93	0.93	0.90	0.91
	Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Ca	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Membros Finais	XMg	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.47
	XFe	0.51	0.51	0.50	0.51	0.51	0.52	0.52
	XCa	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Quadro 3.3 – (continuação) Resultado de análise química mineral em ortopiroxênio do granulito máfico (amostra QP21). Opx = ortopiroxênio; Intermed = intermediário.

	Amostra	QP 21	QP 21	QP 21	QP 21	QP 21	QP 21
	Campo	2	2	2	2	2	2
	Opx	2	2	2	2	2	2
	Ponto	44	45	46	47	48	49
	Posição	Borda	Intermed.	Intermed.	Núcleo	Intermed.	Borda
Óxidos (peso %)	SiO₂	51.22	51.37	51.59	50.87	51.48	51.19
	TiO₂	0.03	0.09	0.03	0.09	0.08	0.06
	Al₂O₃	0.98	1.08	1.07	1.20	1.12	1.19
	FeO	30.71	29.44	30.28	30.30	29.47	29.80
	MgO	15.84	16.27	15.86	16.15	16.21	16.31
	MnO	0.42	0.34	0.37	0.33	0.41	0.37
	CaO	0.53	0.78	0.53	0.67	1.20	0.51
	Na₂O	0.07	0.04	0.00	0.06	0.03	0.01
	K₂O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total	99.79	99.40	99.73	99.67	99.99	99.43
Cátions (6 oxigênios)	Si	1.99	1.99	2.00	1.98	1.99	1.99
	Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Al	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	Fe	1.00	0.95	0.98	0.98	0.95	0.97
	Mg	0.92	0.94	0.92	0.93	0.93	0.94
	Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Ca	0.02	0.03	0.02	0.03	0.05	0.02
	Na	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Membros Finais	XMg	0.47	0.49	0.48	0.48	0.48	0.49
	XFe	0.52	0.50	0.51	0.51	0.49	0.50
	XCa	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01

3.3.1.3 Hornblenda

A hornblenda foi analisada em três grãos, um no campo 1 e dois no campo 2. No campo 1 foram analisados 4 pontos enumerados do 14 ao 17, enquanto no campo 2 foram analisados 7 pontos enumerados do 50 ao 56, conforme mostra a Figura 3.11. Os resultados da análise podem ser observados no Quadro 3.4.

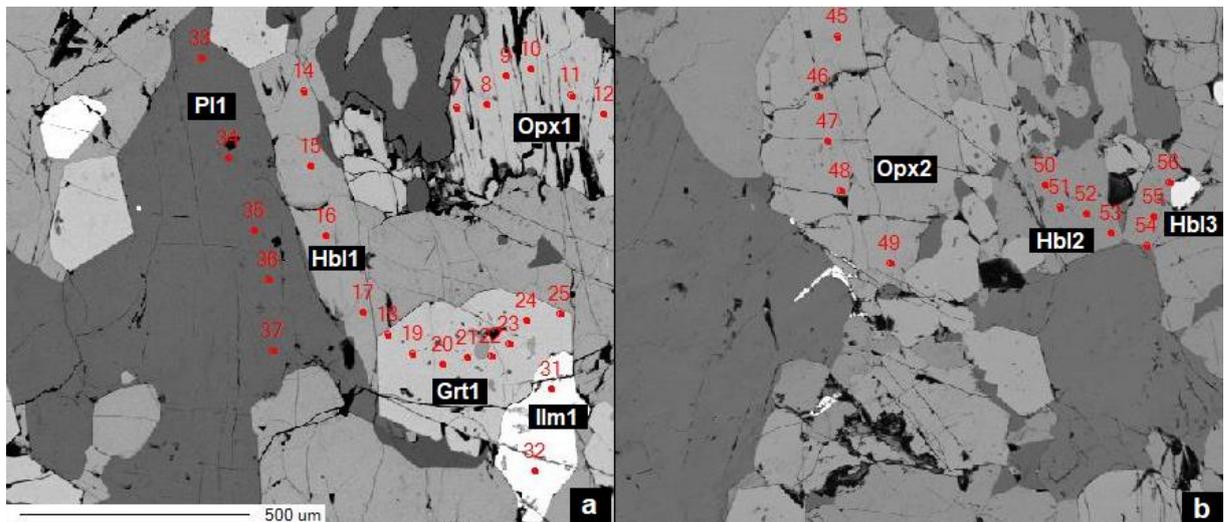


Figura 3.11 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de hornblenda presentes na lâmina QP21 e os pontos analisados (A) no campo 1 (14 a 18*) e (B) no campo 2 (50 a 56*). *Numeração original fornecida pelo LMic.

A hornblenda apresenta fórmula unitária geral igual a $(\text{K}_{0,13-0,16}\text{Na}_{0,48-0,52})\text{Ca}_{1,70-1,90}(\text{Fe}^{3+}_{0,09-0,74}\text{Fe}^{2+}_{1,33-2,03}\text{Mg}_{2,03-2,31}\text{Al}_{0,08-0,81})(\text{Al}_{1,44-1,95}\text{Si}_{6,29-6,52})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. Seus teores médios são em torno de 43,31% de SiO_2 ; 13,58% de FeO ; 12,05% de Al_2O_3 ; 10,98% de CaO ; 9,48% de MgO ; 3,84% de Fe_2O_3 ; 2,07% de TiO_2 ; 1,74% de Na_2O ; 0,76% de K_2O e 0,12% de MnO .

Quadro 3.4 - Resultado de análise química mineral em hornblenda do granulito máfico (amostra QP21). Hbl = hornblenda.

	Amostra	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21
	Campo	1	1	1	1	2	2
	Hbl	1	1	1	1	2	2
	Ponto	14	15	16	17	50	51
	Posição	Borda	Intermediário	Núcleo	Borda	Borda	Núcleo/Intermediário
Óxidos (peso %)	SiO₂	43.29	43.95	43.89	43.48	42.96	42.71
	TiO₂	2.05	2.06	2.14	2.03	2.21	2.18
	Al₂O₃	11.63	11.69	11.78	11.77	11.69	12.76
	Cr₂O₃	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
	Fe₂O₃	4.24	4.05	3.59	4.05	6.70	6.17
	FeO	13.49	13.40	14.14	13.24	10.80	11.54
	MnO	0.08	0.11	0.02	0.08	0.07	0.72
	MgO	9.51	9.45	9.32	9.60	10.51	9.40
	CaO	10.90	10.70	10.77	10.78	10.79	10.79
	Na₂O	1.76	1.68	1.79	1.79	1.81	1.77
	K₂O	0.69	0.72	0.76	0.73	0.78	0.72
	ZrO₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total	97.64	97.81	98.20	97.55	98.31	98.76
Cátions (23 oxigénios)	Si	6.45	6.51	6.50	6.47	6.33	6.29
	Ti	0.23	0.23	0.24	0.23	0.25	0.24
	Al	2.04	2.04	2.05	2.06	2.03	2.21
	Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fe	2.16	2.11	2.15	2.10	2.07	2.10
	Mn	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.09
	Mg	2.11	2.09	2.06	2.13	2.31	2.06
	Ca	1.74	1.70	1.71	1.72	1.70	1.70
	Na	0.51	0.48	0.51	0.52	0.52	0.50
	K	0.13	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14

Quadro 3.4 – (continuação) Resultado de análise química mineral em hornblenda do granulito máfico (amostra QP21). Hbl = hornblenda;

	Amostra	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21
	Campo	2	2	2	2	2
	Hbl	2	2	3	3	3
	Ponto	52	53	54	55	56
	Posição	Núcleo/Intermediário	Borda	Borda	Núcleo	Borda
Óxidos (peso %)	SiO₂	42.89	43.07	43.07	43.77	43.37
	TiO₂	2.19	1.97	1.97	2.07	1.89
	Al₂O₃	12.61	12.02	12.02	11.74	12.90
	Cr₂O₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	Fe₂O₃	4.44	0.78	0.78	3.64	3.86
	FeO	12.92	16.24	16.24	14.00	13.40
	MnO	0.06	0.06	0.06	0.05	0.02
	MgO	9.49	9.30	9.30	9.18	9.23
	CaO	10.84	11.87	11.87	10.69	10.82
	Na₂O	1.82	1.66	1.66	1.67	1.72
	K₂O	0.75	0.81	0.81	0.77	0.78
	ZrO₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total	98.00	97.76	97.76	97.58	97.98
Cátions (23 oxigênios)	Si	6.35	6.45	6.45	6.52	6.42
	Ti	0.24	0.22	0.22	0.23	0.21
	Al	2.20	2.12	2.12	2.06	2.25
	Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fe	2.10	2.12	2.12	2.15	2.09
	Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
	Mg	2.10	2.08	2.08	2.04	2.03
	Ca	1.72	1.90	1.90	1.70	1.71
	Na	0.52	0.48	0.48	0.48	0.49
	K	0.14	0.16	0.16	0.15	0.15

3.3.1.4 Granada

A granada foi analisada em quatro grãos, dois no campo 1 e dois no campo 2. No campo 1 foram analisados 13 pontos, enumerados do 18 ao 30 enquanto no campo 2 foram analisados 9 pontos, do 57 ao 65, conforme ilustrado na Figura 3.12. Os resultados da análise podem ser observados no Quadro 3.5.

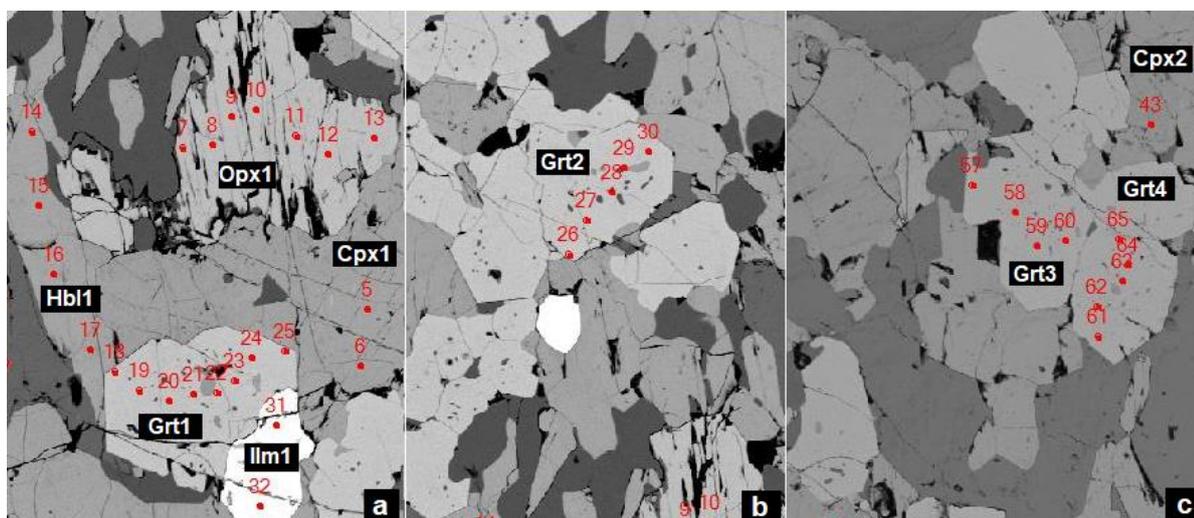


Figura 3.12 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de granada presentes na lâmina QP21 e os pontos analisados (A) no campo 1 (18 a 25*); (B) no campo 1 (26 a 30*); (C) no campo 2 (57 a 65*). *Numeração original fornecida pelo LMic.

As granadas apresentam fórmula geral igual a $(\text{Fe}_{1,86-1,94}\text{Ca}_{0,55-0,58}\text{Mg}_{0,41-0,49}\text{Mn}_{0,07-0,08})\text{Al}_{1,93-2,02}\text{Si}_{3,0-3,06}\text{O}_{12}$. É possível observar que os cristais são ricos na molécula almandina (62 – 64,5%), seguidos por grossulária (18,4-19,5%), piropo (13,6 -16,4%) e espessartita (2,4 – 2,8%), conforme ilustrado na Figura 3.13b. Além disso, nota-se que não há variação significativa nos teores de ferro, magnésio, manganês e cálcio do núcleo para a borda. Essa homogeneidade pode ser observada na Figura 3.13c e 3.13d.

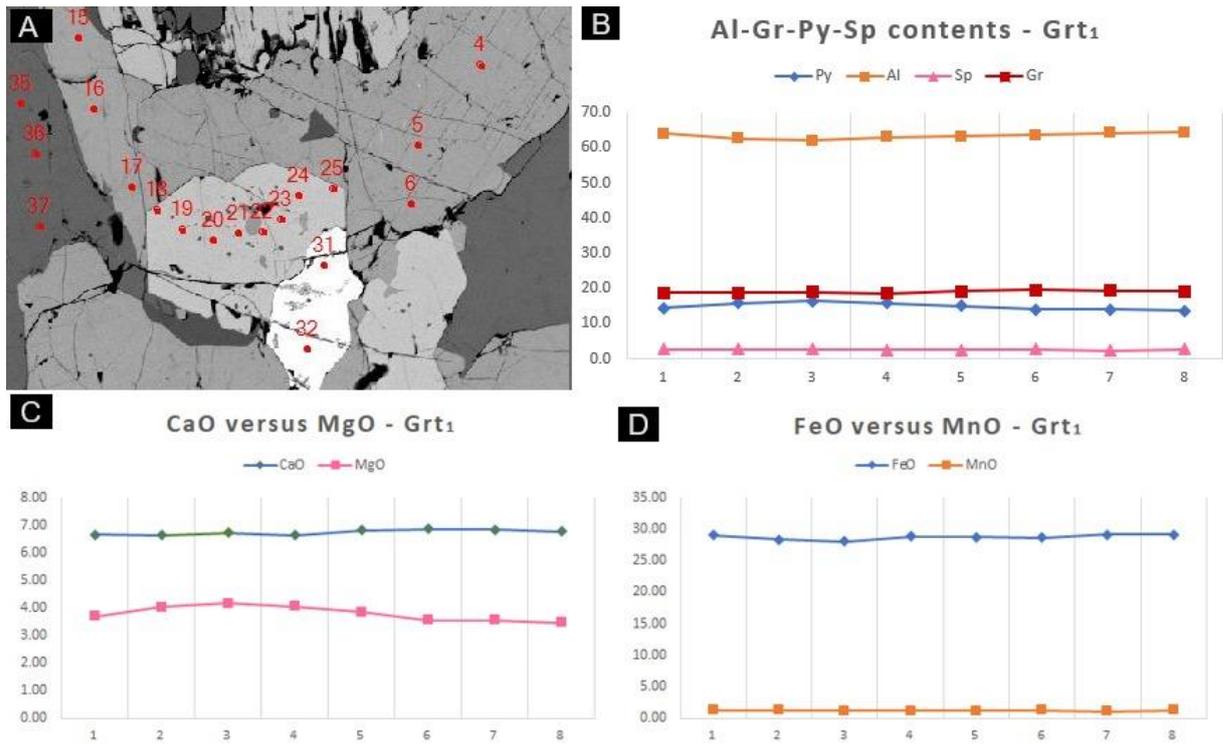


Figura 3.13 - Gráficos indicando as proporções no cristal de granada 1, campo 1 da amostra QP21. A) Perfil borda – núcleo – borda; B) Gráfico indicando as proporções de almandina (Al), piropo (Py), grossulária (Gr) e espessartita (Sp) no cristal de granada 1, campo 1; C) Gráfico ilustrando a variação núcleo-borda dos conteúdos, em % peso, de CaO e MgO; D) Gráfico ilustrando a variação núcleo-borda dos conteúdos, em % peso, de FeO e MnO.

Quadro 3.5 – Resultado de análise química mineral em granada do granulito máfico (amostra QP21). Grt = granada; Intermed = intermediário; Py = piropo; Al = almandina; Sp = espessartita; Gr = grossulária.

	Amostra	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21
	Campo	1	1	1	1	1	1	1
	Grt	1	1	1	1	1	1	1
	Ponto	18	19	20	21	22	23	24
	Posição	Borda	Intermed.	Intermed.	Núcleo	Núcleo	Intermed.	Intermed.
Óxidos (peso %)	SiO₂	38.33	38.28	38.36	38.70	38.35	38.58	38.31
	Al₂O₃	20.99	20.76	20.95	21.18	20.76	20.66	20.84
	MgO	3.69	4.03	4.16	4.05	3.85	3.55	3.54
	CaO	6.65	6.63	6.72	6.64	6.81	6.86	6.83
	MnO	1.22	1.21	1.20	1.16	1.17	1.21	1.12
	FeO	29.01	28.38	28.04	28.83	28.71	28.68	29.11
	Total	99.89	99.29	99.42	100.56	99.65	99.55	99.74
Cátions (12 oxigénios)	Si	3.03	3.04	3.04	3.03	3.04	3.06	3.04
	Al	1.96	1.94	1.95	1.96	1.94	1.93	1.95
	Mg	0.43	0.48	0.49	0.47	0.45	0.42	0.42
	Ca	0.56	0.56	0.57	0.56	0.58	0.58	0.58
	Mn	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07
	Fe	1.92	1.89	1.86	1.89	1.90	1.90	1.93
Membros Finais	Py	14.5	15.9	16.4	15.8	15.1	14.1	13.9
	Al	64.0	62.7	62.0	63.1	63.1	63.7	64.3
	Sp	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.7	2.5
	Gr	18.8	18.7	19.0	18.6	19.2	19.5	19.3

Quadro 3.5 – (continuação) Resultado de análise química mineral em granada do granulito máfico (amostra QP21). Grt = granada; Intermed = intermediário; Py = piropo; Al = almandina; Sp = espessartita; Gr = grossulária.

	Amostra	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21
	Campo	1	1	1	1	1	1	2	2
	Grt	1	2	2	2	2	2	3	3
	Ponto	25	26	27	28	29	30	57	58
	Posição	Borda	Borda	Intermed.	Núcleo	Intermed.	Borda	Borda	Intermed.
Óxidos (peso %)	SiO ₂	38.12	38.58	38.65	38.68	38.50	37.99	38.59	38.55
	Al ₂ O ₃	20.76	21.00	21.10	21.08	20.86	21.71	20.78	20.81
	MgO	3.45	3.65	4.01	3.90	3.86	3.55	3.70	3.94
	CaO	6.77	6.76	6.75	6.52	6.58	6.63	6.53	6.60
	MnO	1.24	1.11	1.22	1.13	1.24	1.24	1.26	1.23
	FeO	29.16	29.05	28.80	28.61	28.66	28.68	29.19	28.56
	Total	99.50	100.15	100.53	99.92	99.69	99.80	100.05	99.69
Cátions (12 oxigênios)	Si	3.03	3.04	3.03	3.05	3.04	3.00	3.05	3.05
	Al	1.95	1.95	1.95	1.96	1.94	2.02	1.93	1.94
	Mg	0.41	0.43	0.47	0.46	0.45	0.42	0.44	0.46
	Ca	0.58	0.57	0.57	0.55	0.56	0.56	0.55	0.56
	Mn	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	Fe	1.94	1.92	1.89	1.89	1.90	1.90	1.93	1.89
Membros Finais	Py	13.6	14.3	15.6	15.4	15.2	14.1	14.5	15.5
	Al	64.5	64.1	62.8	63.5	63.4	64.1	64.3	63.1
	Sp	2.8	2.5	2.7	2.5	2.8	2.8	2.8	2.7
	Gr	19.2	19.1	18.9	18.5	18.6	19.0	18.4	18.7

Quadro 3.5 – (continuação) Resultado de análise química mineral em granada do granulito máfico (amostra QP21). Grt = granada; Intermed = intermediário; Py = piropo; Al = almandina; Sp = espessartita; Gr = grossulária.

	Amostra	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21
	Campo	2	2	2	2	2	2	2
	Grt	3	3	4	4	4	4	4
	Ponto	59	60	61	62	63	64	65
	Posição	Núcleo	Intermed.	Borda	Intermed.	Núcleo	Intermed.	Borda
Óxidos (peso %)	SiO₂	38.57	38.62	37.94	38.32	38.56	38.36	38.56
	Al₂O₃	21.10	20.92	20.99	21.03	20.75	21.06	20.95
	MgO	4.18	4.09	3.69	4.04	4.10	4.18	3.90
	CaO	6.67	6.73	6.64	6.60	6.56	6.71	6.71
	MnO	1.20	1.08	1.10	1.08	1.12	1.12	1.24
	FeO	28.38	28.86	28.28	28.71	28.42	28.41	28.59
	Total	100.09	100.30	98.64	99.77	99.51	99.84	99.95
Cátions (12 oxigênios)	Si	3.03	3.04	3.03	3.03	3.05	3.03	3.04
	Al	1.96	1.94	1.98	1.96	1.93	1.96	1.95
	Mg	0.49	0.48	0.44	0.48	0.48	0.49	0.46
	Ca	0.56	0.57	0.57	0.56	0.56	0.57	0.57
	Mn	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08
	Fe	1.87	1.90	1.89	1.90	1.88	1.88	1.89
Membros Finais	Py	16.3	15.9	14.8	15.8	16.1	16.3	15.3
	Al	62.3	63.0	63.6	63.2	62.8	62.3	63.0
	Sp	2.7	2.4	2.5	2.4	2.5	2.5	2.8
	Gr	18.7	18.8	19.1	18.6	18.6	18.9	18.9

3.3.1.5 Plagioclásio

O plagioclásio foi analisado em dois grãos, um em cada campo. No campo 1 foram analisados 5 pontos, enumerados do 33 ao 37 enquanto no campo 2 foram analisados também 5 pontos, do 66 ao 70, conforme ilustrado na Figura 3.14. Os resultados da análise podem ser observados no Quadro 3.6.

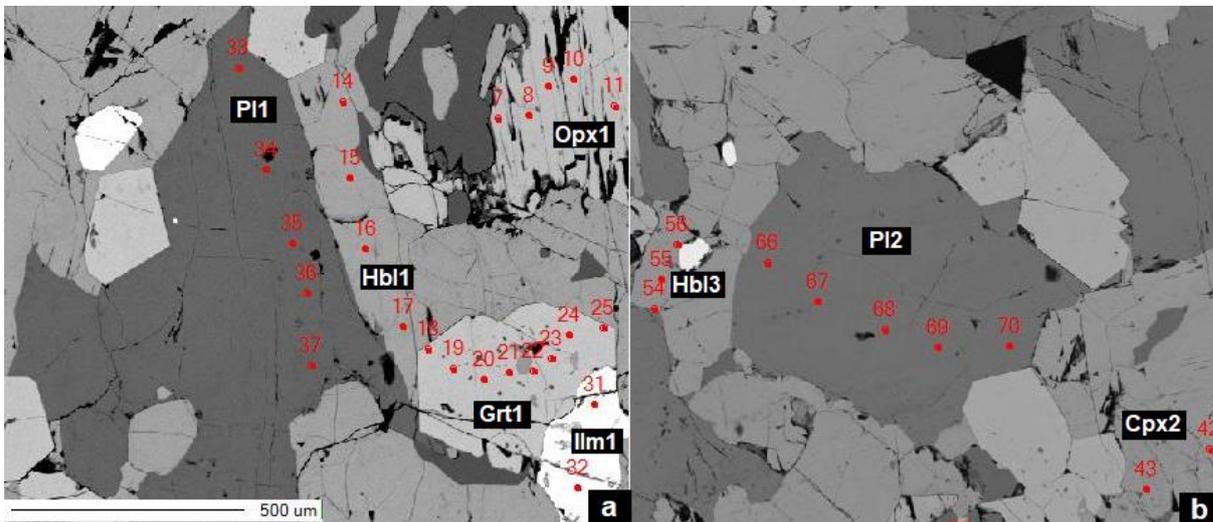


Figura 3.14 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de plagioclásio presentes na lâmina QP21 e os pontos analisados (A) no campo 1 (33 a 37*) e (B) no campo 2 (66 a 70*). *Numeração original fornecida pelo LMIC.

O plagioclásio apresenta como fórmula geral $(\text{Na}_{0,53-0,61}\text{Ca}_{0,39-0,44})(\text{Al}_{0,40-0,48}\text{Si}_{0,53-0,59})\text{AlSi}_2\text{O}_8$. Praticamente não se observa variação da borda para o núcleo em ambos os cristais e podem ser classificados como andesina, segundo a classificação de Deer *et al.* (1992) (Figura 3.15).

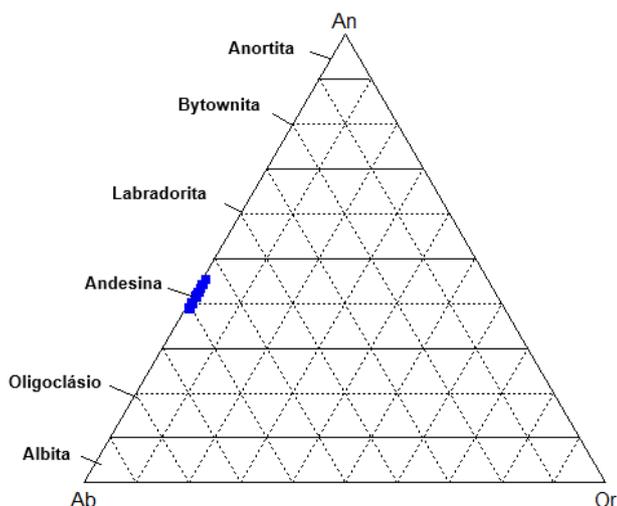


Figura 3.15 - Diagrama ternário Ab-An-Or classificatório para os cristais de plagioclásio da lâmina QP21 (Deer *et al.* 1992). Ab=albita, An=anortita, Or= Ortooclásio.

Quadro 3.6 – Resultado de análise química mineral em plagioclásio do granulito máfico (amostra QP21). Pl = plagioclásio; An = anortita; Ab = albita; Or = ortoclásio.

	Amostra	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21
	Campo	1	1	1	1	1
	Pl	1	1	1	1	1
	Ponto	33	34	35	36	37
	Posição	Borda	Intermediário	Núcleo	Intermediário	Borda
Óxidos (peso %)	SiO ₂	57.49	57.45	57.22	57.99	57.78
	Al ₂ O ₃	27.08	26.58	27.19	26.48	27.05
	FeO	0.08	0.05	0.04	0.07	0.11
	CaO	8.14	8.96	8.79	8.71	8.27
	Na ₂ O	7.02	6.62	6.70	6.73	7.09
	K ₂ O	0.17	0.14	0.14	0.15	0.15
	BaO	0.01	0.03	0.00	0.01	0.03
	Total	99.98	99.83	100	100.137	100.481
Cátions (8 oxigénios)	Si	2.58	2.58	2.56	2.59	2.58
	Al	1.43	1.41	1.44	1.40	1.42
	Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ca	0.39	0.43	0.42	0.42	0.40
	Na	0.61	0.58	0.58	0.58	0.61
	K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Membros Finais	Ano	38.68	42.47	41.71	41.35	38.86
	Ab	60.36	56.73	57.53	57.80	60.30
	Or	0.97	0.80	0.76	0.85	0.83

Quadro 3.6 – (continuação) Resultado de análise química mineral em plagioclásio do granulito máfico (amostra QP21). Pl = plagioclásio; An = anortita; Ab = albita; Or = ortoclásio.

	Amostra	QP21	QP21	QP21	QP21	QP21
	Campo	2	2	2	2	2
	Pl	2	2	2	2	2
	Ponto	66	67	68	69	70
	Posição	Borda	Intermediário	Núcleo	Intermediário	Borda
Óxidos (peso %)	SiO ₂	57.27	57.06	56.59	56.83	56.83
	Al ₂ O ₃	27.11	27.65	28.02	27.78	26.91
	FeO	0.11	0.05	0.06	0.09	0.08
	CaO	8.42	8.98	9.28	9.14	8.36
	Na ₂ O	6.91	6.44	6.10	6.34	6.82
	K ₂ O	0.15	0.14	0.13	0.14	0.15
	BaO	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03
	Total	99.99	100.34	100	100.342	99.17
Cátions (8 oxigênios)	Si	2.57	2.55	2.53	2.54	2.57
	Al	1.43	1.46	1.48	1.46	1.43
	Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ca	0.40	0.43	0.44	0.44	0.40
	Na	0.60	0.56	0.53	0.55	0.60
	K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Membros Finais	Ano	39.93	43.20	45.33	43.99	40.01
	Ab	59.23	56.02	53.91	55.20	59.11
	Or	0.84	0.78	0.76	0.81	0.88

3.3.1.6 Ilmenita

A ilmenita foi analisada em dois grãos, um em cada campo. Em ambos os campos foram analisados 2 pontos, no campo 1 enumerados do 31 ao 32 enquanto no campo 2 do 71 ao 72, conforme ilustrado na Figura 3.16. Os resultados da análise podem ser observados no Quadro 3.7.

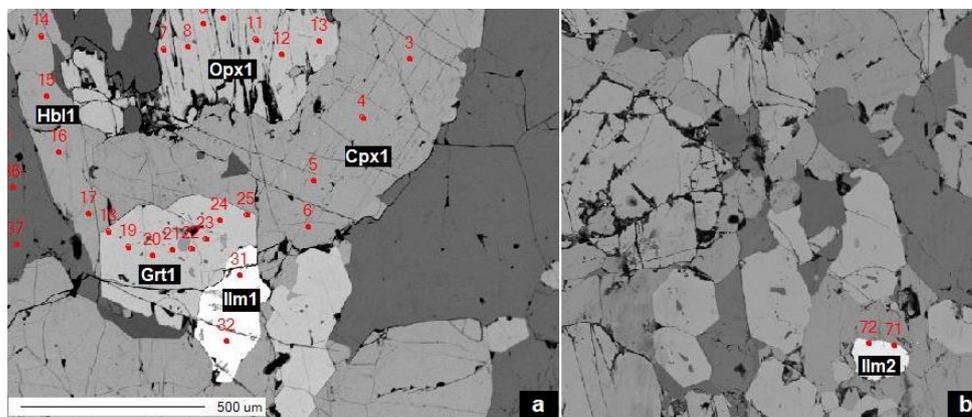


Figura 3.16 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de ilmenita presentes na lâmina QP21 e os pontos analisados (A) no campo 1 (31 e 32*) e (B) no campo 2 (71 e 72*). *Numeração original fornecida pelo LMÍc.

A ilmenita é um óxido de titânio e ferro de fórmula $FeTiO_3$ e seus teores médios são em torno de 45,43% de FeO e 53,60% de TiO_2 .

Quadro 3.7 – Resultado de análise química mineral em ilmenita do granulito máfico (amostra QP21). Ilm = ilmenita.

	Amostra	QP21	QP21	QP21	QP21
	Campo	1	1	2	2
	Ilm	1	1	2	2
	Ponto	31	32	71	72
	Posição	Borda	Intermediário	Borda	Borda
Óxidos (peso %)	Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.03
	SiO ₂	0.00	0.01	0.03	0.00
	MgO	0.21	0.16	0.58	0.65
	Al ₂ O ₃	0.04	0.00	0.05	0.05
	K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00
	CaO	0.01	0.04	0.01	0.02
	TiO ₂	53.64	53.88	53.06	53.81
	Cr ₂ O ₃	0.02	0.00	0.01	0.00
	MnO	0.20	0.25	0.24	0.25
	FeO	45.28	45.24	45.79	45.83
	Total	99.38	99.58	99.76	100.62

3.3.2 Grupo Andrelândia

A lâmina CF02 foi dividida em dois campos enumerados 1 e 2, conforme a Figura 3.17.

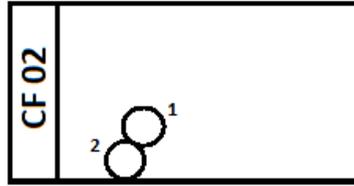


Figura 3.17 - Representação da lâmina delgada da amostra CF02 indicando os campos analisados.

Na amostra de paragnaisse granatífero foram analisados cristais de sillimanita, plagioclásio, biotita e feldspato potássico no campo 1 e granada, biotita, plagioclásio, feldspato potássico e sillimanita no campo 2. A disposição dos pontos encontra-se indicada no Quadro 3.8.

Quadro 3.8 – Relação dos campos, minerais e pontos analisados na amostra CF02. *Numeração original fornecida pelo LMIC. Sill = sillimanita; Pl = plagioclásio; Bt = biotita; Kfs = feldspato potássico; Grt = granada.

CF02	Mineral	Pontos*
Campo 1	Sill1	1-4
	Sill2	5-10
	Pl1	11-16
	Pl2	17-21
	Bt1	22-29
	Kfs1	30-32
	Kfs2	33-34
Campo 2	Grt1	35-46
	Bt2	47-54
	Pl3	55-60
	Kfs3	61-63
	Sill3	64-65
	Kfs4	66-68

3.3.2.1 Sillimanita

A sillimanita foi analisada em três grãos, dois no campo 1 e um no campo 2. No campo 1 tem-se 10 pontos enumerados do 1 ao 10 enquanto no campo 2 tem-se 2 pontos enumerados do 64 ao 65, conforme ilustrado na Figura 3.18. Os resultados da análise podem ser observados no Quadro 3.9.

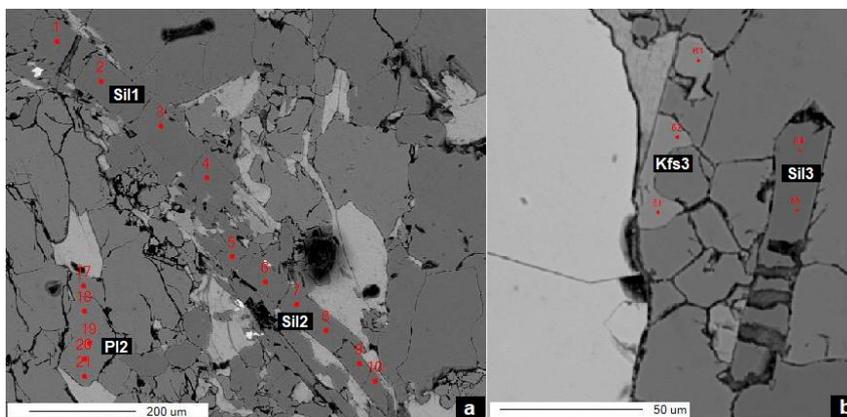


Figura 3.18 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de sillimanita presentes na lâmina CF02 e os pontos analisados (A) no campo 1 (1 ao 10*) e (B) no campo 2 (64 e 65*). *Numeração original fornecida pelo LMIC.

A sillimanita é polimorfo de Al_2SiO_5 cuja cristalização é favorecida pela temperatura. Seus teores médios na amostra CF02 são em torno de 36,98% de SiO_2 e 62,41% de Al_2O_3 .

Quadro 3.9 – Resultado de análise química mineral em sillimanita do paragnaisse granatífero (amostra CF02). Sill = sillimanita; Inter = intermediário.

	Amostra	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02
	Campo	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	Sill	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3
	Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	64	65
	Posição	Borda	Inter.	Núcleo	Borda	Borda	Inter.	Inter.	Núcleo	Borda	Inter.
Óxidos (peso %)	Na ₂ O	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.04	0.36	0.00
	SiO ₂	36.90	37.05	37.63	37.12	37.32	36.91	37.31	36.28	36.37	36.93
	MgO	0.01	0.02	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00
	Al ₂ O ₃	62.22	62.65	61.56	62.65	62.67	62.83	62.28	62.74	61.84	62.66
	K ₂ O	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.11	0.00
	CaO	0.01	0.00	0.08	0.01	0.01	0.02	0.01	0.06	0.64	0.02
	TiO ₂	0.00	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01	0.02	0.04	0.02	0.00
	Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	MnO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00
	FeO	0.29	0.28	0.32	0.24	0.25	0.30	0.34	0.33	0.21	0.25
	Total	99.42	100.02	99.62	100.12	100.31	100.11	99.99	99.56	99.58	99.85

3.3.2.2 Plagioclásio

O plagioclásio foi analisado em três grãos, dois no campo 1 e um no campo 2. No campo 1 tem-se 11 pontos enumerados do 11 ao 21 enquanto no campo 2 tem-se 6 pontos enumerados do 55 ao 60, conforme ilustrado na Figura 3.19. Os resultados da análise podem ser observados na Quadro 3.10.

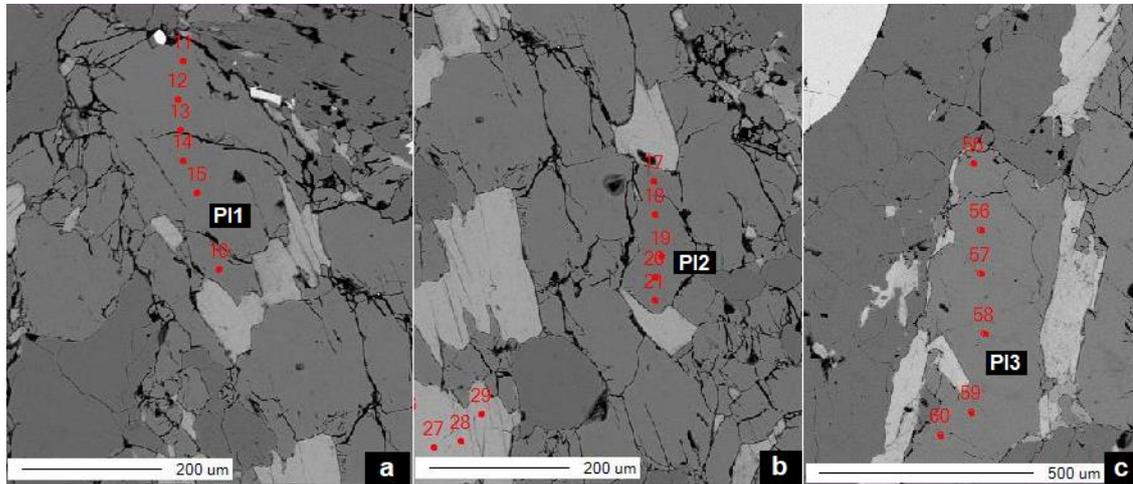


Figura 3.19 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de plagioclásio presentes na lâmina CF 02 e os pontos analisados (A) no campo 1 (11 ao 16*); (B) no campo 1 (17 e 21*) e (C) no campo 2 (55 a 60*). *Numeração original fornecida pelo LMic.

O plagioclásio apresenta como fórmula geral $(\text{Na}_{0,71-0,74}\text{Ca}_{0,26-0,30})(\text{Al}_{0,29-0,31}\text{Si}_{0,68-0,73})\text{Al Si}_2\text{O}_8$. Praticamente não se observa variação da borda para o núcleo em todos os cristais e os plagioclásios apresentam composição correspondente a andesina, segundo a classificação de Deer *et al.* (1992) (Figura 3.20).

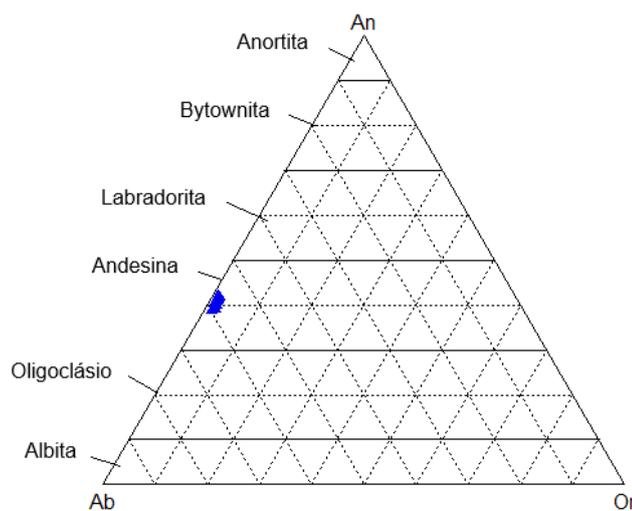


Figura 3.20 - Diagrama ternário Ab-An-Or classificatório para os cristais de plagioclásio da lâmina CF02 (Deer *et al.* 1992). Ab=albita, Na=anortita e Or=ortoclásio.

Quadro 3.10 – Resultado de análise química mineral em plagioclásio do paragnaisse granatífero (amostra CF02).

Pl = plagioclásio; Inter = intermediário; An = anortita; Ab = albita; Or = ortoclásio.

	Amostra	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02
	Campo	1	1	1	1	1	1	1	1
	Pl	1	1	1	1	1	1	2	2
	Ponto	11	12	13	14	15	16	17	18
	Posição	Borda	Inter.	Inter.	Núcleo	Inter.	Borda	Borda	Inter.
Óxidos (peso %)	SiO ₂	60.30	61.03	61.01	60.92	60.92	60.64	43.59	60.87
	Al ₂ O ₃	24.98	24.85	24.75	25.02	24.78	24.64	20.12	25.01
	FeO	0.08	0.00	0.00	0.02	0.01	0.08	9.31	0.06
	CaO	6.20	5.99	5.96	5.86	5.79	5.84	1.93	6.06
	Na ₂ O	8.41	8.30	8.43	8.44	8.44	8.49	2.57	8.48
	K ₂ O	0.15	0.22	0.21	0.20	0.25	0.22	4.22	0.21
	BaO	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	Total	100.15	100.39	100.37	100.45	100.20	99.91	81.73	100.70
Cátions (8 oxigénios)	11.19	10.74	10.81	10.82	10.79	10.82	10.81	10.12	10.77
	4.84	5.24	5.19	5.17	5.22	5.19	5.18	5.51	5.22
	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.81	0.01
	0.67	1.18	1.14	1.13	1.11	1.10	1.12	0.48	1.15
	3.34	2.90	2.85	2.90	2.90	2.91	2.93	1.16	2.91
	0.03	0.03	0.05	0.05	0.04	0.06	0.05	1.25	0.05
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Membros Finais	16.5	28.7	28.2	27.8	27.4	27.1	27.2	16.6	28.0
	82.8	70.5	70.6	71.1	71.5	71.5	71.6	40.1	70.8
	0.6	0.8	1.2	1.1	1.1	1.4	1.2	43.3	1.2

Quadro 3.10 – (continuação) Resultado de análise química mineral em plagioclásio do paragnaisse granatífero (amostra CF02). Pl = plagioclásio; Inter = intermediário; An = anortita; Ab = albita; Or = ortoclásio.

	Amostra	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02
	Campo	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	Pl	2	2	2	3	3	3	3	3	3
	Ponto	19	20	21	55	56	57	58	59	60
	Posição	Núcleo	Inter.	Borda	Borda	Inter.	Inter.	Núcleo	Inter.	Borda
Óxidos (peso %)	SiO ₂	60.26	60.57	60.62	60.34	60.25	61.14	61.69	61.00	61.24
	Al ₂ O ₃	24.62	24.98	24.85	24.85	24.29	24.63	24.40	24.67	24.92
	FeO	0.01	0.03	0.06	0.03	0.00	0.04	0.00	0.05	0.02
	CaO	5.73	5.93	6.02	6.08	5.65	5.56	5.49	6.06	5.78
	Na ₂ O	8.33	8.24	8.31	8.26	8.54	8.57	8.49	8.30	8.47
	K ₂ O	0.20	0.16	0.19	0.20	0.29	0.22	0.22	0.21	0.19
	BaO	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01
	Total	99.17	99.95	100.05	99.75	99.01	100.17	100.30	100.31	100.63
Cátions (8 oxigênios)	11.19	10.81	10.78	10.78	10.77	10.83	10.85	10.92	10.82	10.82
	4.84	5.21	5.24	5.21	5.23	5.15	5.15	5.09	5.16	5.19
	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
	0.67	1.10	1.13	1.15	1.16	1.09	1.06	1.04	1.15	1.09
	3.34	2.90	2.84	2.87	2.86	2.98	2.95	2.91	2.86	2.90
	0.03	0.05	0.04	0.04	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05	0.04
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Membros Finais	16.5	27.2	28.2	28.3	28.6	26.4	26.1	26.0	28.4	27.1
	82.8	71.6	70.9	70.7	70.3	72.0	72.7	72.7	70.4	71.9
	0.6	1.2	0.9	1.0	1.1	1.6	1.2	1.3	1.2	1.0

3.3.2.3 Biotita

A biotita foi analisada em dois grãos, um em cada campo. Em ambos os campos têm-se 8 pontos, sendo os do campo 1 enumerados do 22 ao 29 enquanto os do campo 2 enumerados do 47 ao 54, conforme ilustrado na Figura 3.21. Os resultados da análise podem ser observados no Quadro 3.11.

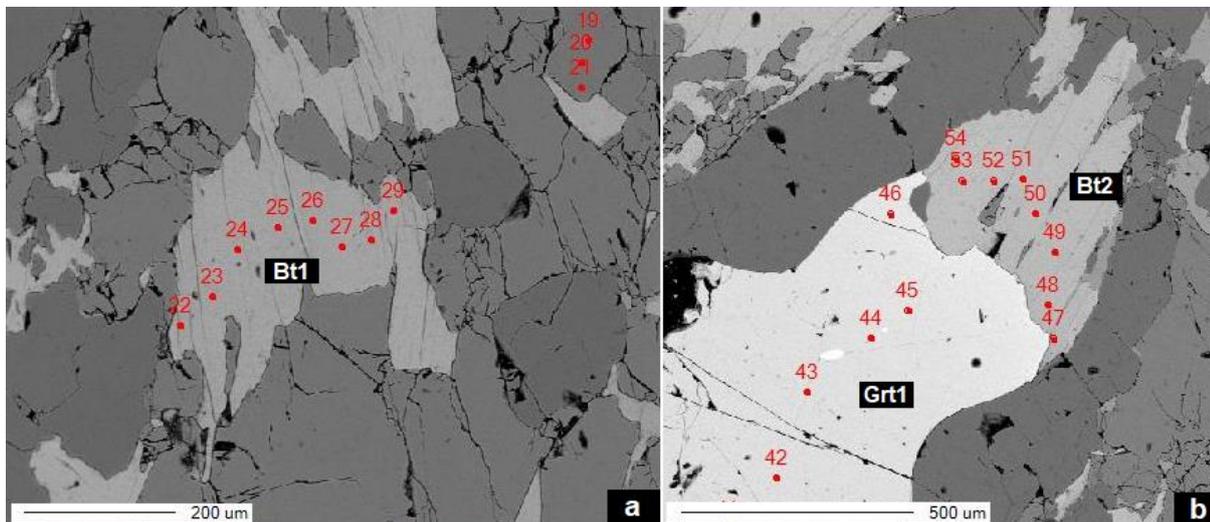


Figura 3.21 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de biotita presentes na lâmina CF02 e os pontos analisados (A) no campo 1 (22 a 29*) e (B) no campo 1 (47 a 54*). *Numeração original fornecida pelo LMic.

A biotita apresenta como fórmula geral $(\text{Na}_{0,01-0,02}\text{K}_{0,86-1,04})(\text{Ti}_{0,18-0,31}\text{Al}_{0,20-0,32}\text{Fe}_{0,84-1,19}\text{Mg}_{1,28-1,39})(\text{Al}_{1,19-1,30}\text{Si}_{2,70-2,81})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$. Os cálculos realizados evidenciam que os valores de #Mg, #Fe, #Ti, #Al e #K variam na fórmula, respectivamente, entre: 0,44 - 0,50; 0,31-0,41; 0,06-0,11; 0,07- 0,12; 0,98-0,99. Essa variação nos valores obtidos pode ser considerada como mínima, portanto, esses cristais de biotita apresentam uma composição homogênea. Ressalta-se que os valores de TiO_2 estão entre 3,14 e 5,51%, mostrando tratar-se de uma Ti-Biotita, típico da fácies granulito.

Quadro 3.11 – Resultado de análise química mineral em biotita do paragnaisse granatífero (amostra CF02). Bt = biotita; Inter – intermediário.

	Amostra	CF02							
	Campo	1	1	1	1	1	1	1	1
	Bt	1	1	1	1	1	1	1	1
	Ponto	22	23	24	25	26	27	28	29
	Posição	Borda	Inter.	Inter.	Núcleo	Inter.	Inter.	Inter.	Borda
Óxidos (peso %)	Na ₂ O	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.05	0.09	0.08
	SiO ₂	35.09	37.80	36.11	36.61	36.58	36.86	36.00	36.91
	MgO	11.17	12.19	11.86	12.00	11.99	11.99	11.85	11.79
	Al ₂ O ₃	16.90	16.10	16.83	16.87	16.93	16.94	16.72	16.44
	K ₂ O	9.25	10.50	10.78	10.48	10.58	10.31	10.53	10.34
	CaO	0.05	0.03	0.01	0.02	0.00	0.03	0.01	0.04
	TiO ₂	3.14	3.46	3.61	3.68	3.67	3.69	3.63	3.55
	Cr ₂ O ₃	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	MnO	0.00	0.04	0.03	0.00	0.02	0.08	0.04	0.07
	FeO	18.45	16.18	15.84	15.99	15.12	15.05	15.24	15.05
	Total	94.07	96.36	95.14	95.72	94.98	95.01	94.10	94.26
Cátions (22 oxigênios)	Na(A)	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Si(T)	2.70	2.81	2.73	2.75	2.76	2.77	2.74	2.80
	Mg(M1,2)	1.28	1.35	1.34	1.34	1.35	1.34	1.35	1.33
	Al(T)	1.30	1.19	1.27	1.25	1.24	1.23	1.26	1.20
	Al VI(M1,2)	0.24	0.23	0.23	0.24	0.26	0.27	0.25	0.27
	K(A)	0.91	1.00	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.00
	Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ti(M1,2)	0.18	0.19	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20
	Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Mn(M1,2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
	Fe(M1,2)	1.19	1.01	1.00	1.00	0.95	0.95	0.97	0.95
Membros Finais	X Mg	0.44	0.49	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	0.48
	X Fe	0.41	0.36	0.36	0.36	0.34	0.34	0.35	0.35
	X Ti	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07
	X Al VI	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.09	0.10
	X K	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

Quadro 3.11 – (continuação) Resultado de análise química mineral em biotita do paragnaisse granatífero (amostra CF02). Bt = biotita; Inter – intermediário.

	Amostra	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02
	Campo	2	2	2	2	2	2	2	2
	Bt	2	2	2	2	2	2	2	2
	Ponto	47	48	49	50	51	52	53	54
	Posição	Borda	Inter.	Inter.	Núcleo	Inter.	Inter.	Inter.	Borda
Óxidos (peso %)	Na₂O	0.09	0.11	0.08	0.10	0.08	0.06	0.07	0.07
	SiO₂	37.16	36.48	36.28	36.90	36.28	36.22	36.72	36.93
	MgO	11.80	12.56	12.45	12.50	12.24	12.36	12.39	12.58
	Al₂O₃	18.12	17.26	16.85	16.64	16.77	16.89	16.71	17.29
	K₂O	10.11	9.65	9.52	9.75	9.76	9.00	9.67	9.84
	CaO	0.01	0.01	0.01	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00
	TiO₂	4.74	5.36	5.21	5.51	5.43	5.47	5.43	5.46
	Cr₂O₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	MnO	0.01	0.00	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
	FeO	13.65	13.78	13.91	13.93	13.81	14.01	13.73	13.64
	Total	95.69	95.21	94.37	95.38	94.38	94.01	94.72	95.81
Cátions (22 oxigénios)	Na(A)	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Si(T)	2.74	2.71	2.72	2.74	2.72	2.72	2.74	2.72
	Mg(M1,2)	1.30	1.39	1.39	1.38	1.37	1.38	1.38	1.38
	Al(T)	1.26	1.29	1.28	1.26	1.28	1.28	1.26	1.28
	Al VI(M1,2)	0.32	0.22	0.21	0.20	0.21	0.21	0.21	0.23
	K(A)	0.95	0.91	0.91	0.92	0.93	0.86	0.92	0.93
	Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ti(M1,2)	0.26	0.30	0.29	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30
	Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Mn(M1,2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fe(M1,2)	0.84	0.86	0.87	0.86	0.87	0.88	0.86	0.84
Membros Finais	X Mg	0.48	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	X Fe	0.31	0.31	0.31	0.31	0.32	0.32	0.31	0.31
	X Ti	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
	X Al VI	0.12	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08
	X K	0.99	0.98	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99

3.3.2.4 K-feldspato

O K-feldspato foi analisado em quatro grãos, dois em cada campo. No campo 1 tem-se 5 pontos enumerados do 30 ao 34, enquanto no campo 2 tem-se 6 pontos, sendo eles do 61 ao 63 e do 66 ao 68. Esses dados encontram-se ilustrados na Figura 3.22. Os resultados da análise podem ser observados no Quadro 3.12.

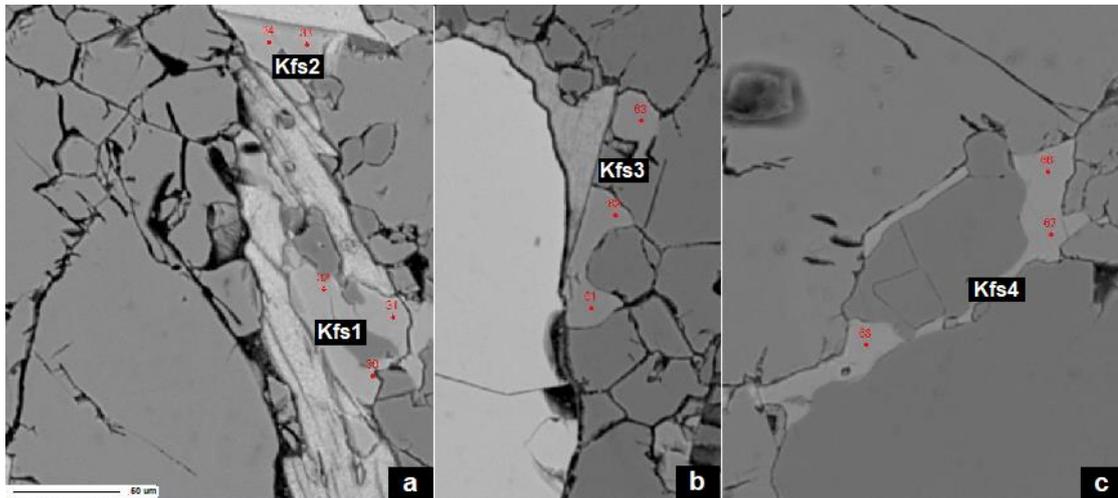


Figura 3.23 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando os cristais de K-feldspato presentes na lâmina CF02 e os pontos analisados (A) no campo 1 (30 a 34*); (B) no campo 2 (61 a 63*) e (C) no campo 2 (66 a 68*). *Numeração original fornecida pelo LMic.

O feldspato potássico apresenta como fórmula geral $(K_{0,88-0,94}Na_{0,03-0,04})Al_{1,01-1,03}Si_{2,97-3}O_8$. Seus teores médios são em torno de 63,53% de SiO_2 ; 18,48% de Al_2O_3 ; 15,26% de K_2O ; 0,98% de BaO ; 0,42% de Na_2O ; 0,12% de FeO e 0,02% de CaO sendo classificado como ortoclásio (Deer *et al.* 1992) (Figura 3.23).

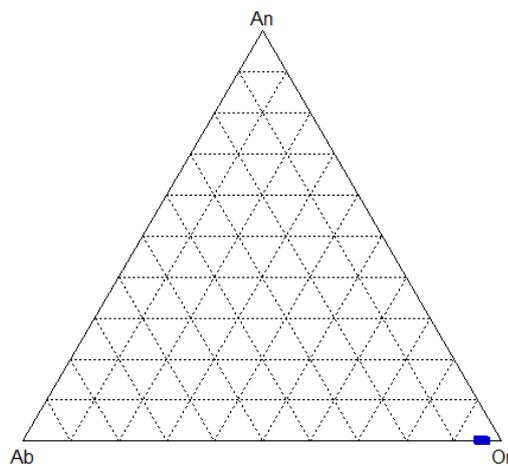


Figura 3.23- Diagrama ternário Ab-An-Or classificatório para os cristais de ortoclásio da lâmina CF02 (Deer *et al.* 1992). Ab=albita, An=anortita e Or=ortoclásio.

Quadro 3.12 – Resultado de análise química mineral em K-feldspato do paragnaisse granatífero (amostra CF02).

Kfs = K-feldspato; An = anortita; Ab = albita; Or = ortoclásio.

	Amostra	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02
	Campo	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	Kfs	1	1	1	2	2	3	3	3	4	4	4
	Ponto	30	31	32	33	34	61	62	63	66	67	68
	Posição	Borda	Núcleo	Borda	Inter.	Inter.	Borda	Núcleo	Borda	Borda	Núcleo	Borda
Óxidos (% em peso)	SiO₂	63.98	63.01	63.39	63.92	63.35	63.50	63.48	63.59	63.12	63.53	63.94
	Al₂O₃	18.35	18.39	18.40	18.54	18.56	18.71	18.49	18.51	18.55	18.35	18.44
	FeO	0.07	0.11	0.06	0.23	0.22	0.21	0.22	0.12	0.03	0.02	0.00
	CaO	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.03	0.03	0.06	0.03	0.02	0.00
	Na₂O	0.49	0.47	0.46	0.43	0.34	0.49	0.40	0.37	0.39	0.40	0.40
	K₂O	15.40	15.57	15.74	15.56	15.38	15.00	14.97	15.08	15.41	15.07	14.69
	BaO	1.06	1.08	1.04	1.11	1.13	1.02	0.95	1.06	0.81	0.78	0.73
	Total	99.35	98.63	99.10	99.79	98.98	98.96	98.54	98.79	98.34	98.17	98.20
Cátions (8 oxigênios)	Si	2.99	2.97	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.99	3.00
	Al	1.01	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.02	1.02	1.03	1.02	1.02
	Fe	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Na	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04
	K	0.92	0.94	0.94	0.93	0.92	0.90	0.90	0.90	0.93	0.91	0.88
	Ba	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
Membros Finais	Ano	0.03	0.00	0.08	0.03	0.02	0.18	0.18	0.34	0.17	0.10	0.02
	Ab	4.62	4.38	4.25	4.00	3.27	4.68	3.91	3.60	3.69	3.89	3.97
	Or	95.35	95.62	95.67	95.97	96.71	95.13	95.92	96.06	96.14	96.01	96.01

3.3.2.5 Granada

A granada foi analisada em um porfiroblasto localizado no campo 2. Ao todo foram analisados 12 pontos num transepto NE-SW, enumerados do 35 ao 46, conforme ilustrado na Figura 3.24. Os resultados da análise podem ser observados no Quadro 3.13.

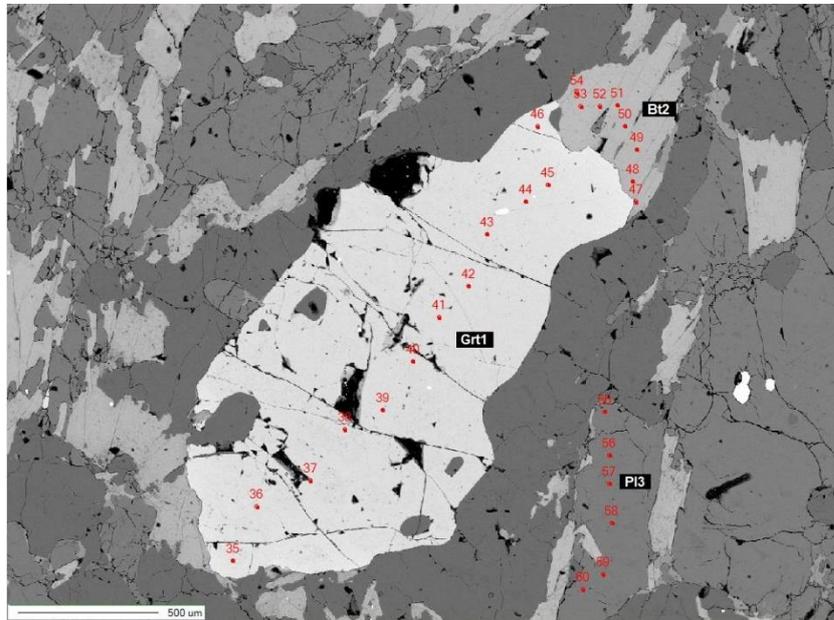


Figura 3.24 - Imagens de elétrons retroespalhados evidenciando o cristal de granada presente na lâmina CF02 e os pontos analisados no campo 2 (35 a 46*). *Numeração original fornecida pelo LMIC.

A granada apresenta fórmula geral $(\text{Fe}_{1,89-2,05}\text{Mg}_{0,71-0,92}\text{Ca}_{0,08-0,09}\text{Mn}_{0,05-0,06})\text{Al}_{1,98-2,08}\text{Si}_{2,99-3,03}\text{O}_{12}$. É possível observar que o porfiroblasto é rico na molécula almandina (64,2 – 70,6%), seguido por piropo (24,3 - 31,2%), grossulária (2,8 - 3,1%) e espessartita (1,7 – 2,2%), conforme ilustrado na Figura 3.25b. Além disso, nota-se que não há variação significativa nos teores de manganês e cálcio do núcleo para a borda. Essa relativa homogeneidade pode ser observada na Figura 3.25c e 3.25d. Os teores de almandina e piropo mostram certo enriquecimento do núcleo para a borda do grão, indicando crescimento do cristal com aumento da temperatura (Figura 3.25b).

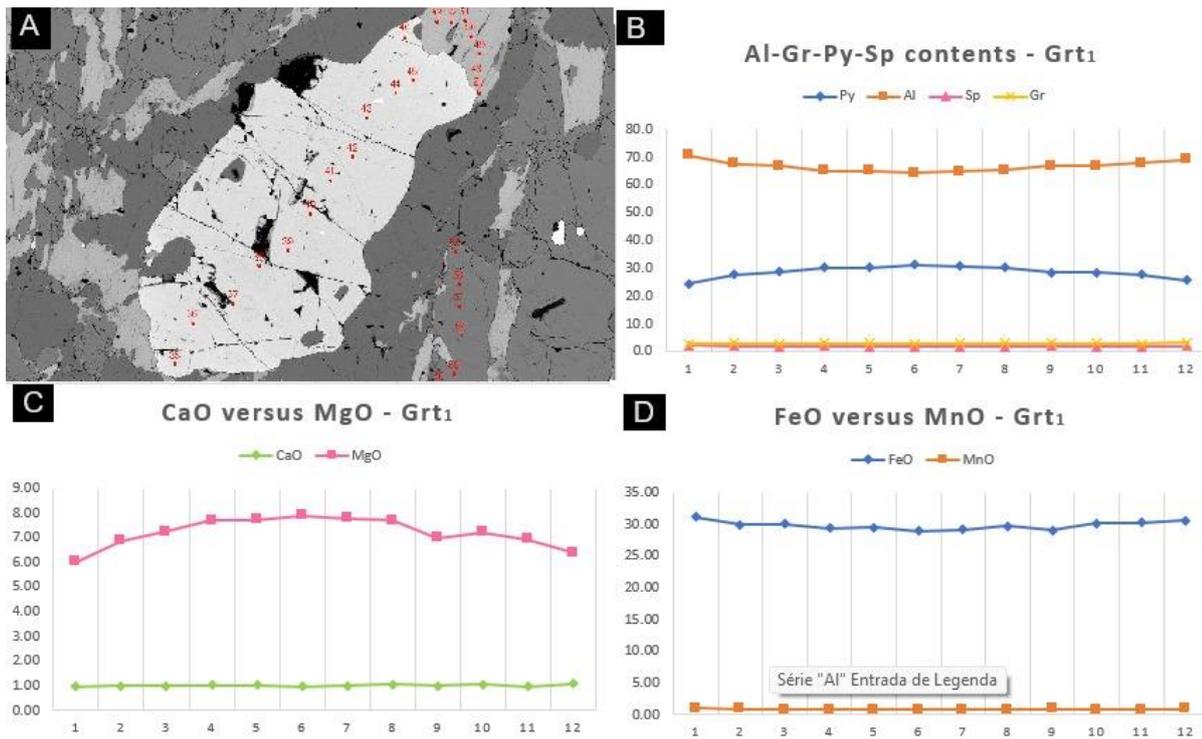


Figura 3.25 - Gráficos indicando as proporções no cristal de granada 1, campo 2 da amostra CF02. A) Perfil borda – núcleo – borda; B) Gráfico indicando as proporções de almandina (Al), piropo (Py), grossulária (Gr) e espessartita (Sp) no cristal de granada 1, campo 1; C) Gráfico ilustrando a variação núcleo-borda dos conteúdos, em % peso, de CaO e MgO; D) Gráfico ilustrando a variação núcleo-borda dos conteúdos, em % peso, de FeO e MnO.

Quadro 3.13 – Resultado de análise química mineral em granada do paragnaisse granatífero (amostra CF02). Grt = granada; Intermed = intermediário; Py = piropo; Al = almandina; Sp = espessartita; Gr = grossulária; Intermed = intermediário.

	Amostra	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02
	Campo	2	2	2	2	2	2
	Grt	1	1	1	1	1	1
	Ponto	35	36	37	38	39	40
	Posição	Borda	Intermed.	Intermed.	Intermed.	Intermed.	Núcleo
Óxidos (peso %)	SiO₂	38.14	38.24	38.39	38.69	38.84	38.76
	Al₂O₃	22.23	22.44	22.38	21.46	21.65	21.71
	MgO	6.01	6.88	7.24	7.69	7.71	7.89
	CaO	0.97	1.00	1.00	1.04	1.01	0.97
	MnO	0.97	0.89	0.77	0.83	0.80	0.80
	FeO	31.11	29.95	30.00	29.30	29.46	28.94
	Total	99.43	99.39	99.77	99.01	99.46	99.06
Cátions (12 oxigênios)	Si	3.00	2.99	2.99	3.03	3.03	3.03
	Al	2.06	2.07	2.06	1.98	1.99	2.00
	Mg	0.71	0.80	0.84	0.90	0.90	0.92
	Ca	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08
	Mn	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05
	Fe	2.05	1.96	1.96	1.92	1.92	1.89
Membros Finais	Py	24.31	27.60	28.68	30.31	30.30	31.19
	Al	70.64	67.49	66.75	64.88	65.05	64.25
	Sp	2.22	2.03	1.74	1.86	1.79	1.80
	Gr	2.82	2.88	2.83	2.95	2.86	2.76

Quadro 3.13 – (continuação) Resultado de análise química mineral em granada do paragnaisse granatífero (amostra CF02). Grt = granada; Intermed = intermediário; Py = piropo; Al = almandina; Sp = espessartita; Gr = grossulária; Intermed = intermediário.

	Amostra	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02	CF02
	Campo	2	2	2	2	2	2
	Grt	1	1	1	1	1	1
	Ponto	41	42	43	44	45	46
	Posição	Intermed.	Intermed.	Intermed.	Intermed.	Intermed.	Borda
Óxidos (peso %)	SiO₂	39.03	38.56	38.89	38.28	38.37	38.41
	Al₂O₃	21.66	21.60	22.64	21.40	22.35	22.12
	MgO	7.76	7.69	6.97	7.20	6.92	6.40
	CaO	1.01	1.06	0.99	1.05	0.97	1.07
	MnO	0.82	0.77	0.85	0.81	0.80	0.89
	FeO	29.19	29.68	29.02	30.12	30.19	30.51
	Total	99.46	99.36	99.35	98.85	99.60	99.39
Cátions (12 oxigênios)	Si	3.04	3.02	3.02	3.02	3.00	3.01
	Al	1.99	1.99	2.08	1.99	2.06	2.05
	Mg	0.90	0.90	0.81	0.85	0.81	0.75
	Ca	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08	0.09
	Mn	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06
	Fe	1.90	1.94	1.89	1.99	1.97	2.00
Membros Finais	Py	30.63	30.09	28.49	28.42	27.66	25.78
	Al	64.68	65.24	66.63	66.78	67.73	69.08
	Sp	1.83	1.70	1.98	1.82	1.83	2.03
	Gr	2.86	2.97	2.90	2.99	2.78	3.10

3.4 GEOTERMOBAROMETRIA

A geotermobarometria permite estimar condições de pressão e temperatura do metamorfismo de uma determinada rocha a partir da química dos minerais que se encontram em equilíbrio paragenético (Delgado 2007). Segundo Spear & Florence (1992), o uso da geotermobarometria torna possível a obtenção de curvas P-T-t de determinadas paragéneses minerais assim como o estudo do equilíbrio das fases que a compõe. Em uma Trajetória P-T-t, representadas, num diagrama PxT, encontram-se representadas as sucessivas condições de pressão e temperatura atuantes sobre uma rocha em um espaço de tempo.

Os cálculos geotermobarométricos podem ser realizados por métodos convencionais, que se pautam principalmente em reações de troca catiônica (*Exchange reactions*, baseadas no intercâmbio de elementos de raios e cargas iônicas semelhantes entre minerais coexistentes em função de variações de temperatura) e em reações de transferência de componentes de reagentes para produtos (*Net-transfer reactions*, fortemente dependentes da pressão). Como representante das reações de troca catiônica, cita-se o geotermômetro ortopiroxênio-granada de Sen & Battacharya (1984), aqui utilizado (ver cálculos no item 3.4.1.1). Outra forma de calcular a pressão e a temperatura do pico metamórfico diz respeito à utilização de softwares que incluem um banco de dados termodinâmicos consistentes, a exemplo do THERMOCALC de Holland & Powell (1998). Nesse TCC, utilizou-se o *average* PT desse programa para a realização dos cálculos de P e T (vide metodologia no item 1.4).

3.4.1 Pares Minerais

3.4.1.1 Granulito máfico

Para a amostra de granulito máfico (QP21) do Complexo Juiz de Fora foram obtidos valores de temperaturas por meio dos resultados de química dos minerais em equilíbrio nesta amostra. O geotermômetro utilizado foi o par ortopiroxênio-granada de Sen & Battacharya (1984). A pressão para o cálculo foi fixada em 6 Kbar, visto tratar-se de uma amostra metamorfizada sob condições de metamorfismo regional de média P. A temperatura média encontrada foi de 829,17°C e os valores encontrados para temperaturas da borda, intermediários e de núcleo dos cristais da amostra QP21 podem ser encontrados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Temperaturas da amostra QP21 encontradas a través do par mineral ortopiroxênio-granada de Sen & Battacharya (1984). Grt = granada; Opx = ortopiroxênio.

Posição	Campos	Granada	Ortopiroxênio	Temperatura (°C)
Borda	1 e 1	Grt1 - ponto 18	Opx1 - ponto 7	805,61
Borda	1 e 1	Grt1 - ponto 25	Opx1 - ponto 13	807,41
Borda	1 e 2	Grt2 - ponto 26	Opx2 - ponto 44	824,59
Borda	1 e 2	Grt2 - ponto 30	Opx2 - ponto 49	789,47
Intermediário	1 e 1	Grt1 - ponto 19	Opx1 - ponto 8	865,69
Intermediário	2 e 1	Grt3 - ponto 58	Opx1 - ponto 9	838,90
Intermediário	2 e 1	Grt3 - ponto 60	Opx1 - ponto 10	872,49
Intermediário	2 e 2	Grt4 - ponto 62	Opx2 - ponto 45	841,6
Intermediário	2 e 2	Grt4 - ponto 64	Opx2 - ponto 48	865,77
Núcleo	1 e 1	Grt1 - ponto 21	Opx1 - ponto 11	860,37
Núcleo	2 e 2	Grt3 - ponto 59	Opx2 - ponto 47	881,20

3.4.1.2 Paragnaisse granatífero

Para a amostra de paragnaisse granatífero (CF02) do Grupo Andrelândia foram obtidos valores de temperaturas por meio dos resultados de química dos minerais em equilíbrio nesta amostra. O geotermômetro utilizado foi o par granada-biotita de Battacharya *et al.* (1992) combinado com o geobarômetro GASP de Holland & Powell (1995). A pressão para o cálculo foi fixada em 6 Kbar, pressão média do metamorfismo regional. A temperatura média encontrada foi de 704,38°C e os valores encontrados para temperaturas da borda, intermediários e de núcleo dos cristais da amostra CF02 podem ser encontrados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Temperaturas da amostra CF 02 encontradas a través do par mineral granada-biotita de Battacharya *et al.* (1992). Intermed = intermediário; Grt = granada; Bt = biotita; Sill = sillimanita; Pl = plagioclásio.

Posição	Campos	Granada	Biotita	Sillimanita	Plagioclásio	Temperatura (°C)
Borda	2,1,1 e 1	Grt1 - ponto 35	Bt1 - ponto 22	Sill1 - ponto 1	Pl1 - ponto 11	721
Borda	2,2,1,2	Grt1 - ponto 46	Bt2 - ponto 47	Sill2 - ponto 5	Pl3 - ponto 55	656
Intermed.	2,1,1,1	Grt1 - ponto 36	Bt1 - ponto 23	Sill2 - ponto 6	Pl1 - ponto 12	705
Intermed.	2,1,1,1	Grt1 - ponto 37	Bt1 - ponto 24	Sill2 - ponto 7	Pl2 - ponto 18	717
Intermed.	2,1,1,2	Grt1 - ponto 41	Bt1 - ponto 26	Sill1 - ponto 2	Pl3 - ponto 56	725
Intermed.	2,2,1,2	Grt1 - ponto 44	Bt2 - ponto 48	Sill2 - ponto 7	Pl3 - ponto 59	668
Núcleo	2,1,1,1	Grt1 - ponto 40	Bt1 - ponto 25	Sill1 - ponto 3	Pl1 - ponto 14	746
Núcleo	2,2,1,2	Grt1 - ponto 40	Bt2 - ponto 50	Sill2 - ponto 8	Pl3 - ponto 58	697

3.4.2 Thermocalc

Foram obtidos valores médios de temperatura e pressão para a amostra de paragnaisse granatífero (CF02) a partir do software Thermocalc 3.21 (Holland & Powell 1998). O método consiste em calcular projeções de temperatura e pressão a partir da resolução de equações não lineares de reações entre membros finais das fases em equilíbrio em uma determinada paragênese mineral.

3.4.2.1 Paragnaisse granatífero

A paragênese mineral analisada na amostra CF02 é composta por biotita, granada, sillimanita, plagioclásio e ortoclásio. Foram obtidos diversos valores de temperatura e pressão e os melhores (ou mais próximos daqueles tidos como ideais) devem apresentar os valores mais baixos de “s.d” desvio padrão e “fit” que mede o quanto sua equação se aproxima de uma reta, em um diagrama P×T. O único fluido considerado foi H₂O levando-se em conta que os minerais formadores da rocha são anidros ou pouco hidratados e não há presença de CO₂ em carbonatos, por exemplo. Os resultados encontram-se na Tabela 3.15. Para a borda dos cristais o valor de temperatura encontrado está compreendido no intervalo entre 924±38°C e 1004±76°C e para o núcleo entre 964±35°C e 1001±75°C. Já os valores de pressão para a borda variam de 6,12±1,46 a 6,27±1,41kbar e para o núcleo variam de 6,85±1,56 a 7,13±2,04kbar.

Tabela 3.3 - Geotermobarometria da amostra de paragnaisse granatífero (CF02) do Grupo Andrelândia. Os pontos referentes aos minerais estão mostrados no item 3.3.2. (Bt = biotita, Grt = granada, Sill = silimanita, Pl = plagioclásio, Or = ortoclásio) (Endmembers: Phl = flogopita, Ann = anita, East = eastonita, Py = piropo, Gr = grossulária, Alm = almandina, Spss = espessartita, An = anortita; Ab = albita, San = sanidina).

Amostra	Posição	Campos	Minerais (pontos)	P H ₂ O	End members utilizados	Average T (°C)			Fit	Average P (Kbar)			Fit
						Janela Utilizada		Resultados		Janela Utilizada		Resultados	
						P (Kbar)	T (°C)			P (Kbar)	T (°C)		
CF02	Borda	1,2,1,1,1	Bt1(22), Grt1(46), Sill1(4), Pl1(16) e Or1(30)	1,0	Phl, Ann, East, Py, Gr, Alm, Spss, An, Ab, San	5-9	700-1000	926 ± 44	1,20	5-9	750-1000	6,12 ± 1,46	0,95
CF02	Borda	1,2,1,1,1	Bt1(22), Grt1(46), Sill1(4), Pl1(16) e Or1(30)	1,0	Phl, Ann, East, Py, Gr, Alm, Spss, An, Ab, San	4-9	700-1200	924 ± 38	0,93	4-9	800-1000	6,19 ± 1,37	0,99
CF02	Borda	1,2,1,1,1	Bt1(22), Grt1(46), Sill1(4), Pl1(16) e Or1(30)	1,0	Phl, Ann, East, Py, Gr, Alm, Spss, An, Ab, San	5-9	700-1100	1004 ± 76	0,69	5-9	700-1100	6,27 ± 1,41	1,00
CF02	Núcleo	1,2,1,1,2	Bt1(25), Grt1(40), Sill1(3), Pl1(14) e Or2(63)	1,0	Phl, Ann, East, Py, Gr, Alm, Spss, An, Ab, San	5-9	700-1100	1001 ± 75	0,61	5-9	700-1100	7,13 ± 2,04	1,46
CF02	Núcleo	1,2,1,1,2	Bt1(25), Grt1(40), Sill1(3), Pl1(14) e Or2(63)	1,0	Phl, Ann, East, Py, Gr, Alm, Spss, An, Ab, San	4-9	700-1200	964 ± 35	0,56	4-9	700-1200	6,92 ± 1,55	0,89
CF02	Núcleo	1,2,1,1,2	Bt1(25), Grt1(40), Sill1(3), Pl1(14) e Or2(63)	1,0	Phl, Ann, East, Py, Gr, Alm, Spss, An, Ab, San	4-9	700-1300	964 ± 36	0,54	700-1300	964 ± 36	6,85 ± 1,56	0,40

CAPÍTULO 4

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os granulitos máfico e aluminoso pertencentes ao Complexo Juiz de Fora e Grupo Andrelândia, respectivamente, foram caracterizados nesse trabalho a partir do estudo petrográfico, de química mineral e geotermobarométrico. As duas amostras estudadas e suas respectivas paragêneses minerais estão exemplificadas abaixo:

- **Granulito máfico (QP 21):** plagioclásio + clinopiroxênio + hornblenda + granada + ortopiroxênio + opacos;
- **Granulito aluminoso (CF02):** plagioclásio + granada + biotita + quartzo + ortoclásio + sillimanita + opacos.

A análise qualitativa do metamorfismo já indica cristalização sob condições de fácies granulito visto que a presença de Opx e de intercrescimento antiperitítico na amostra QP21 e de ortoclásio + sillimanita prismática + biotita avermelhada (biotita titanífera) na amostra CF02 são feições indicativas dessa fácies (Yardley 1989). No caso da amostra aluminosa, uma reação possível para a geração de sillimanita + ortoclásio é: *muscovita + quartzo = Al₂SiO₅ + feldspato potássico + H₂O* (Yardley 1989), indicando também que não há muscovita primária em equilíbrio na fácies granulito.

Na análise química mineral da amostra QP21 verificou-se que os cristais de granada mostram maiores quantidades do componente almandina, seguido por grossulária, piropo e espessartita enquanto a amostra CF02 tem maiores quantidades de almandina, seguido por piropo, grossulária e espessartita. Em ambas as amostras não há variação significativa nos teores de FeO, MgO, MnO e CaO do núcleo para a borda dos cristais, indicando certa homogeneidade composicional, (característica de granadas de grau metamórfico alto). A análise dos plagioclásios evidenciou cristais compostos por andesina, ambos sem zonamento composicional.

Na amostra QP21 tem-se a presença de clinopiroxênio, definido nesse trabalho como diopsídio-hedembergita, clássico Cpx das rochas metamórficas. O ortopiroxênio da mesma lâmina foi definido como hiperstênio e apresenta teores de enstatita entre 47 e 49%. A hornblenda da lâmina QP21 também não apresenta zonamento composicional. Na amostra CF02 a sillimanita apresenta teores de 62,22 a 62,83% de Al₂O₃, indicando protólito aluminoso. A biotita tem coloração marrom-avermelhada e altos teores de TiO₂, podendo ser classificada como titano-biotita, típico de rochas de fácies granulito.

Ellis (1987) e Winter (2001) definem os granulitos como rochas metamórficas constituídas por paragêneses minerais comumente anidras formadas em temperaturas superiores a 700°C e em

profundidades que variam de 25 a 40 km. As idades do metamorfismo sofrido por essas rochas (590-560 Ma) sugerem que o evento responsável por sua formação foi o Ciclo Brasileiro, que atingiu a região do Orógeno Araçuaí entre 580-490 Ma, formando a Província Mantiqueira (Brito-Neves *et al.* 1999 in Gradim *et al.* 2011), grande sistema orogênico onde a Folha Jequeri (1:50.000) está localizada. Os cálculos termométricos realizados com o par ortopiroxênio-granada para o granulito máfico (amostra QP21) resultou em valores entre 789,47 e 824,59 °C na borda dos cristais e entre 860,37 e 881,2°C no núcleo, indicando fácies granulito (Yardley 1989). O método aplicado foi aquele proposto por Sen & Battacharya (1984) e foi desenvolvido para ser aplicado a rochas submetidas a metamorfismo de fácies granulito, como as estudadas aqui. Dessa forma, os valores obtidos para as temperaturas ficam dentro do esperado para a amostra do Complexo Juiz de Fora estudada. É importante ressaltar, com essa experiência, que os pares minerais utilizados em cálculos geotermométricos devem obedecer às premissas básicas estipuladas pelos autores, não devendo ser aplicados indiscriminadamente.

Para a amostra de paragnaisse granatífero (lâmina CF02) foram realizados os cálculos termométricos a partir do par granada-biotita, através do método proposto por Battacharya *et al.* (1992) combinado com o geobarômetro GASP de Holland & Powell (1995). O método foi proposto para ser aplicado a metapelitos, com amplo espectro de temperaturas e pressões. Os cálculos para essa amostra geraram valores de 656-721 °C para a borda dos cristais e 697 e 746 °C para o núcleo, caracterizando a fácies anfibolito superior a granulito. Pode-se dizer que os valores obtidos estão um pouco aquém daqueles esperados para rochas do Grupo Andrelândia, pois, especificamente o par biotita-granada funciona perfeitamente bem para rochas de fácies anfibolito com baixos teores de Mn. Mesmo assim, valeu a pena aplicá-lo para nos dar uma ideia de T e P obtidas antes de aplicar o banco de dados do THERMOCALC.

Os cálculos geotermobarométricos realizados no paragnaisse granatífero (amostra CF02) utilizando os modos *average P* e *average T* do THERMOCALC resultaram em valores de temperatura entre $924\pm 38^{\circ}\text{C}$ e $1004\pm 76^{\circ}\text{C}$, com pouca variação do núcleo para a borda, e em valores de pressão entre $6,12\pm 1,46$ e $7,13\pm 2,04\text{kbar}$. Esses valores são compatíveis com a fácies granulito e com o metamorfismo de média pressão do Ciclo Brasileiro, o que mostra uma excelente correlação com a caracterização petrográfica e de química mineral realizadas no capítulo 3.

Considerando-se a caracterização petrográfica, de química mineral e geotermobarométrica das amostras do Complexo Juiz de Fora e do Grupo Andrelândia foi possível determinar a fácies metamórfica e o grau metamórfico do metamorfismo ao qual essas rochas foram submetidas. Os valores determinados neste trabalho indicam a fácies granulito, característica de metamorfismo de alto grau, com altas temperaturas e a média profundidade (considerando as pressões determinadas). Essa caracterização é importante para se determinar novos e inéditos dados de temperatura e pressão para as rochas mapeadas na Folha Jequeri (1:50.000) realizado por Queiroga *et al.* (2014).

CAPÍTULO 5

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim, F.F., Marshak, S., Pedrosa-Soares, A.C., Peres, G.G., Cruz, S.C.P., Whittington, A. 2006. Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Research*, **149**: 43–64.
- Alkmim, F. F., Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C. M., Cruz, S.C.P. 2007. Sobre a Evolução Tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. *Geonomos*, **15**: 25-43.
- Ashwal, L.D., Morgan, P., Hoisch, T.D. 1992. Tectonics and heat sources for granulite metamorphism of supracrustal-bearing terranes. *Precambrian Research*, **55**:525-538.
- Bhattacharya, A., Mohanty, L., Maji, A., Sen, S.K., Raith, M. 1992. Non-ideal mixing in the phlogopite-annite binary: constraints from experimental data on Mg–Fe partitioning and a reformulation of the biotite-garnet geothermometer. *Mineralogy and Petrology*, **111**: 87-93.
- Brandalise, L. A. Folha Barbacena, SF.23-X-C-III: estado de Minas Gerais, 1:100.000. 1991. Texto explicativo do mapa geológico integrado. Brasília, Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB, CPRM.
- Brito-Neves, B.B.; Campos-Neto, M.C., Fuck, R.A. 1999. From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage. *Episodes*, **22**: 155-199.
- Deer W.A.; Howie R.A.; Zussman J. 1992. *Na introduction to the rock-formin Minerals* – 2cond ed. Longman Scientific and Technical.
- Delgado C.E.R. 2007. *Geologia e petrogênese na região da Província Esmeraldífera de Itabira, MG*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 132p.
- Duarte B. P., Figueiredo M.C.H., Campos Neto M., Heilbron M. 1997. Geochemistry of the Granulite Fácies Orthogneisses of Juiz de Fora Complex, Central Segment of Ribeira Belt, Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **27**: 67-82.
- Duarte, B.P., Valente, S.C., Heilbron, M., Campos-Neto, M.C. 2004. Petrogenesis of the orthogneisses of the Mantiqueira Complex, Central Ribeira Belt, SE Brazil: an Archean to Paleoproterozoic Basement unit reworked during the Pan-African orogeny. *Gondwana Research*, **7**: 437-450.

Ferreira, S. M. 2023, Estudo Petrográfico, Microquímico e Termobarométrico dos Granulitos...

Ebert, H. 1955. Pesquisas geológicas na parte sudeste do Estado de Minas Gerais. Relatório Anual do Diretor, DNPM, Rio de Janeiro, 11p.

Ebert, H. 1956. Relatório de atividades DGM. Relatório Anual do Diretor, Rio de Janeiro, 11p.

Ellis D.J. 1987. Origin and evolution of granulites in normal and thickened crusts. *Geology*, **15**:167-170.

Evangelista, H. J., Müller, G. 1986. Petrology of a transition zone between the Archean craton and the Coast Belt, SE of the Iron Quadrangle, Brazil. *Chemie der Erde*, **45**: 129-145.

Ferreira, B.F., Faria, B.T., Vilela, F.T., Linhares, G.M.G., Nicoli, T.A. 2007. *Geologia da região de Santo Antônio do Gramma, Minas Gerais*. Trabalho Geológico de Graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 43 p.

Figueiredo, M. C. H.; Teixeira, Wilson. 1996. The Mantiqueira Metamorphic Complex, Eastern Minas Gerais State: preliminary geochronological and geochemical results. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **68**: 223-246.

Fischel, D.P. 1998. Geologia e dados isotópicos Sm-Nd do Complexo Mantiqueira e do Cinturão Ribeira na região de Abre Campo, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 98p.

Fischel, D.P., Pimentel, M.M., Fuck, R.A., Costa A.G., Rosière, C.A. 1998. Geology and Sm-Nd isotopic data for the Mantiqueira and Juiz de Fora Complexes (Ribeira Belt) in the Abre Campo-Manhuaçu region, Minas Gerais, Brazil. *In: International Conference on Basement Tectonics*. Ouro Preto, *Abstracts*, v. 14, p. 21-23.

Gradim, D.T., Queiroga, G.N., Novo, T.A., Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Romano, A.W., Martins, M., Alkmim, F.F., Basto, C.F., Suleimam, M.A. 2011. Geologia da região de Jequeri-Viçosa (MG), Orógeno Araçuaí Meridional. *Geonomos*, **19 (2)**: 107-120.

Heilbron, M. 1993. *Evolução tectono-metamórfica da Seção Bom Jardim de Minas (MG) – Barra do Piraí (RJ), setor central da Faixa Ribeira*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 268p.

Heilbron, M. 1995. *O segmento central da Faixa Ribeira: compartimentação tectônica e ensaio evolutivo*. Tese (Livre Docência), Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 115p.

Heilbron, M., Tupinambá, M., Almeida, J.C.H., Valeriano, C.M., Valladares, C.S., Duarte, B.P. 1998. New constraints on the tectonic organization and structural styles related to the Brasiliano collage of the central segment of the Ribeira belt, SE Brazil. *In: Internacional Conference on Precambrian and Craton Tectonics*. Ouro Preto, *Extended Abstracts*, v. 14, p.15-17.

- Heilbron, M., Machado, N., Duarte, B. P. 2001. Evolution of the Paleoproterozoic Transamazonian Orogen in SE Brazil: a view from the Neoproterozoic Ribeira Belt. *In: GAC-MAC Joint Annual Meeting, St. Johns, Canada, Abstracts*, v.26, p.61.
- Heilbron, M., Machado, N., Simonetti, T., Duarte, B. 2003. A paleoproterozoic orogen reworked within the neoproterozoic ribeira belt, SE Brazil. *In: South American Symposium on Isotope Geology. Salvador, Short Papers*, v. 4, p. 186-189.
- Holland, T. J. B., Powell, R. 1998. An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology*, **16 (3)**: 309-343.
- Noce, C.M., Costa, A.G., Piuzana, D., Vieira, V.S., Mota, C. 2006. Geologia da Folha Manhuaçu 1:100.000. Texto explicativo do mapa geológico integrado. Rio de Janeiro, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, UFMG-Programa Geologia do Brasil.
- Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Silva, L.C., Alkmim, F.F. 2007a. O embasamento arqueano e paleoproterozóico do Orógeno Araçuaí. *Geonomos*, **15 (1)**: 17-23.
- Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Silva, L.C., Armstrong, R., Piuzana, D. 2007b. Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U-Pb SHRIMP data: implications for Brazil-Africa links in Paleoproterozoic time. *Precambrian Research*, **159**: 60-78.
- Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Wiedemann, C.M., Pinto, C.P. 2001. The Araçuaí- West- Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Precambrian Research*, **110**: 307-323.
- Pedrosa-Soares, A.C., Castañeda, C., Queiroga, G., Gradim, C., Belém, J., Roncato, J., Novo, T., Dias, P., Gradim, D., Medeiros, S., Jacobsohn, T., Vieira, V. 2006. Magmatismo e tectônica do Orógeno Araçuaí na região entre 18° - 19° S e 41° - 40° 30' W, extremo leste de Minas e norte do Espírito Santo. *Geonomos*, **14 (1-2)**: 97-111.
- Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Alkmim, F.F., Silva, L.C., Babinski, M., Cordani, U., Castañeda, C. 2007. Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos*, **15 (1)**: 1-16
- Queiroga, G.N. 2010. Caracterização de restos de litosfera oceânica do Orógeno Araçuaí entre os paralelos 17° e 21° S. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 185p.
- Queiroga, G.N., Gradim, D.T., Pedrosa-Soares, A.C., Pinho, R.R., Vilela, F., Noce, C.M., Nola, T., Novo, T.A., de Oliveira, M.A.S., Basto, C.F. 2014. Geologia e recursos minerais da Folha Jequeri. Relatório de mapeamento, Programa Geologia do Brasil, Serviço Geológico do Brasil, 78p.

Ferreira, S. M. 2023, Estudo Petrográfico, Microquímico e Termobarométrico dos Granulitos...

Sen, S.K., Bhattacharya, A. 1984. An orthopyroxene-garnet thermometer and its application to the Madras charnockites. *Mineralogy and petrology*, **88**: 64-71.

Silva, L.C., Armstrong, R., Noce, C.M., Carneiro, M., Pimentel, M., Pedrosa-Soares, A.C., Leite, C., Vieira, V.S., Silva, M., Paes, V., Cardoso-Filho, J. 2002. Reavaliação da evolução geológica em terrenos pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP, parte II: Orógeno Araçuaí, Cinturão Móvel Mineiro e Cráton São Francisco Meridional. *Revista Brasileira de Geociências*, **32**: 513-528

Silva, L.C., McNaughton, N.J., Armstrong, R., Hartmann, L., Fletcher, I. 2005. The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections. *Precambrian Research*, **136**: 203-240.

Spear, F. S., Florence, F. P. 1992. Thermobarometry in granulites: pitfalls and new approaches. *Precambrian research*, **55(1-4)**: 209-241.

Tupinambá, M., Heilbron, M., Duarte, B.P., Nogueira, J.R., Valladares, C., Almeida, J., Silva, L.G.E., Medeiros, S.R., Almeida, C.G., Miranda, A., Ragatky, C.D., Mendes, J., Ludka, I. 2007. Geologia da Faixa Ribeira setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí. *Geonomos*, **15 (1)**: 67-79.

Winter, J.D. 2001. *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. New Jersey, Prentice Hall, 697p.

Whitney, D. L., Evans, B. W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, **95**: 185-187.

Yardley, B. W. D. 1989. Introdução a petrologia metamórfica. Brasília, DF, Ed. Universidade de Brasília. 340p.