



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

**PETROGRAFIA E MICROESTRUTURAS DO
ANORTOSITO CARREIRA COMPRIDA – PORTO
NACIONAL, TO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

GABRIEL SILVA DE ARAÚJO PONTES

**ORIENTADOR: PROF. DR. PAULO SÉRGIO DE SOUSA
GORAYEB (IG/UFPA)**

BELÉM - PARÁ

2020



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA**

**PETROGRAFIA E MICROESTRUTURAS DO
ANORTOSITO CARREIRA COMPRIDA – PORTO
NACIONAL, TO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

GABRIEL SILVA DE ARAÚJO PONTES

**ORIENTADOR: PROF. DR. PAULO SÉRGIO DE SOUSA
GORAYEB (IG/UFPA)**

BELÉM - PARÁ

2020

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

P813p Pontes, Gabriel Silva de Araújo
Petrografia e microestruturas do Anortosito Carreira Comprida
- Porto Nacional, TO / Gabriel Silva de Araújo Pontes. — 2019.
xiv, 55 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Paulo Sérgio de Sousa Gorayeb
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de
Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará,
Belém, 2019.

1. Petrologia - Tocantins(TO). 2. Metamorfismo. 3.
Anortosito. 4. Petrografia. 5. Microestruturas. I. Título.

CDD 552.06



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA**

**PETROGRAFIA E MICROESTRUTURAS DO
ANORTOSITO CARREIRA COMPRIDA – PORTO
NACIONAL, TO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

GABRIEL SILVA DE ARAÚJO PONTES

Como requisito para à obtenção de Grau de Bacharel em geologia

Data de Aprovação: 05/12/2019

Banca Examinadora:

**Prof. Dr. Paulo Sérgio de Sousa
Gorayeb**

(Orientador – UFPA)

**Prof. Dr. Fabio Henrique Garcia
Domingos**

(Membro – UFPA)

Msc. Luciano Castro da Silva

(Membro - CPRM)

*“Às minhas avós
Célia & Marlene,
por todo amor,
cuidado e carinho.”*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Guilherme Luís Lopes de Araújo Pontes e Regina Célia dos Santos Silva pela educação, apoio e encorajamento nos meus primeiros passos da vida comum e o despertar para vida geológica.

Aos meus irmãos, José Luís, Lucas e Betina e meus avós Emmanuel Silva e Célia Silva, José Luís Pontes (*in memorian*) e especialmente a Marlene Pontes, quem constituem minha grande família

Ao professor e orientador Prof. Dr. Paulo Sérgio de Sousa Gorayeb, pela oportunidade, ensinamentos prestados apoio e comprometimento com minha formação.

À Universidade Federal do Pará, em especial ao Instituto de Geociências e à Faculdade de Geologia por dispor a infraestrutura necessária para realização deste trabalho.

Ao Grupo PET/GEOLOGIA-UFPA, pela oportunidade de atuação em diversos campos das Geociências durante o curso de graduação e concessão de bolsa de estudo.

À Prof. Dra. Rosemery da Silva Nascimento, coordenadora do Grupo PET/GEOLOGIA-UFPA, pela primeira oportunidade de trabalho e os pelos inestimáveis conselhos durante todas as etapas do curso de graduação em Geologia.

Ao projeto: “Petrologia de terrenos metamórficos, metamorfismo de alto grau, petrologia de granitoides, petrologia de rochas metamáficas, geocronologia, no Maciço de Goiás, Cinturão Araguaia, porção oeste da Província Borborema, Cráton São Luis e no Amapá.” vinculado ao Grupo de Petrologia e Evolução Crustal - GPEC certificado pelo CNPq/UFPA, pela oportunidade de ingressar e participar das atividades relacionados ao grupo de pesquisa, possibilitando novos conhecimentos durante a graduação.

Ao Técnico Afonso Quaresma, vulgo Afonsinho, que durante todo o curso sempre esteve muito prestativo para todos e pela excelente viagem neste campo de TCC.

Às técnicas Gisele Marques e Ana Paula, pelo auxílio durante a obtenção de dados de imageamento em MEV e análises mineralógicas pelo EDS no Laboratório de Microanálises (LABMEV) do Instituto de Geociências da UFPA.

Aos técnicos Bruno Fernandes e Joelma lobo, do Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da UFPA, pela confecção das lâminas e sessões delgadas para estudos petrográficos.

Aos grupos de amigos da “Tcholaria” e do “Smite”, em particular ao meu caro Bolívia (William Vargas) pelos momentos de descontração antes e durante toda a graduação.

À minha parceira, Mahely Silva que me acompanhou durante quase toda minha trajetória no curso, sempre partilhando um sorriso e me acompanhando durante os melhores e os piores momentos, agradeço por toda sua luz, bondade e compreensão em minhas ausências.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma tiveram contribuições diretas ou indiretas na realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta os dados petrográficos e microestruturais do Anortosito Carreira Comprida, localizado na região de Porto Nacional – Brejinho de Nazaré (TO), na porção norte da Província Tocantins e inserido no Maciço de Goiás, entre os cinturões Araguaia e Brasília. O trabalho tem como objetivo identificar os efeitos do metamorfismo neste corpo anortosítico e descrever as transformações mineralógicas, texturais e microestruturais presentes no plúton, a fim de identificar as condições metamórficas e as transformações estruturais/microestruturais relacionadas aos efeitos da deformação promovida pelo cisalhamento ao longo do Lineamento Transbrasiliiano. O trabalho inicia-se a partir do levantamento de dados cartográficos e bibliográficos referentes ao conhecimento geológico da Província Tocantins, terrenos metamórficos de alto grau de Porto Nacional e o Anortosito Carreira Comprida. Os trabalhos de campo foram realizados com coleta de amostras representativas da unidade para estudos petrográficos. A partir dos dados petrográficos e microestruturais obtidos, foi possível classificar o corpo anortosítico em três grupos petrográficos distintos segundo as paragêneses e feições microestruturais dominantes: a) Anortositos com feições magmáticas preservadas (Plg + Cpx + Ilm); b) meta-anortositos (Plg + Cpx + Hbl + Bt + Grt + Ttn); e c) anortositos miloníticos (Plg + Hbl + Bt + Grt + Ttn). A presença de uma assembleia mineral de origem metamórfica define o Anortosito Carreira Comprida como um meta-anortosito. As associações mineralógicas obtidas revelam condições de fácies anfibolito, com temperaturas variando entre 600 a 700°C sob condições de média a alta pressão. O domínio petrográfico “a)” apresenta feições magmáticas cumuláticas mais bem preservadas, não tendo cristais hornblenda e biotita em sua composição, o que demonstra condições metamórficas inferiores para este tipo petrográfico. A análise microestrutural evidenciou a presença de microtexturas causadas por deformação sob condições de regime dúctil. A interpretação dos dados obtidos indica a variação entre as condições metamórficas e o nível de deformação nos meta-anortositos, com a deformação ocorrendo mais intensamente nos anortositos milonitizados situados na porção leste do plúton, afetados pela Zona de Cisalhamento Porto Nacional.

Palavras-chave: Petrologia – Tocantins(TO). Metamorfismo. Anortosito. Petrografia. Microestruturas.

ABSTRACT

This paper presents the petrographic and microstructural data of the Carreira Comprida Anorthosite, into the Porto Nacional - Brejinho de Nazaré region (TO), on the northern portion of the Tocantins Province, into the Goiás Massif, between the Araguaia and Brasília belts. This paper aim is to identify the metamorphism effects into this anortositic body, and to describe the mineralogical, textural and microstructural transformations in the pluton, aiming to identify the metamorphic conditions and the structural/microstructural transformations due to the deformation's effects caused by the shearing thought the Transbrasiliano Lineament. At first, it was made a survey of all cartographic and bibliographic content concerning the geological knowledge of the Tocantins Province, the Porto Nacional high-grade metamorphic terrain and the Carreira Comprida Anorthosite. Then, the fieldwork phase had been done to collect representative samples of the unit for petrographic studies. From the petrographic and microstructural data obtained, it was possible to divide the anorthosite into three distinct petrographic types according their paragenesis and dominant microstructural features in each domain: a) Anorthosites with preserved magmatic features (Plg + Cpx + Ilm); b) meta-anorthosites (Plg + Cpx + Hbl + Bt + Grt + Ttn); and c) mylonitic anorthosites (Plg + Hbl + Bt + Grt + Ttn). The presence of a metamorphic mineral assemblage defines the Carreira Comprida Anorthosite as a meta-anorthosite. The obtained mineral associations reveal amphibolite facies metamorphism, with temperatures ranging between 600 and 700°C at medium to high pressure conditions. The petrographic domain marked by "a)" has well preserved magmatic features, without hornblende and biotite in its composition, demonstrating lower metamorphic conditions for this petrographic type. The microstructural analysis pointed the presence of microtextures caused by deformation under ductile conditions. The obtained data interpretation data indicates the variation into the meta-anorthosite's metamorphic conditions and deformation grades, with more intense deformation occurring in the mylonitic anorthosites located in the eastern portion of the pluton, affected by the Porto Nacional Shear Zone.

Keywords: Petrology Tocantins(TO). Metamorphism. Anorthosite. Petrography. Microstructures.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Mapa de localização e vias de acesso á área de estudo e a cidade de Porto Nacional.....	2
Figura 1.2 - Fluxograma acerca do desenvolvimento da monografia e a metodologia adotada.....	3
Figura 2.1 - Mapa geológico da Província Tocantins.	7
Figura 2.2 - Localização e contextualização geológica/cartográfica da área de estudo.....	10
Figura 4.1 - Modelo de formação para anortositos do tipo maciço.....	12
Figura 5.1 - Distribuição das amostragens realizadas durante o estudo do ACC.....	14
Figura 5.2 - Mapa estrutural da região de Porto Nacional.....	15
Figura 5.3 - Aspectos petrográficos do ACC com feições magmáticas preservadas.....	17
Figura 5.4 - Aspectos petrográficos dos meta-anortositos Carreira Comprida.....	21
Figura 5.5 - Aspectos petrográficos dos anortositos milonitizados.....	23
Figura 6.1 - Diagrama composicional dos cristais de plagioclásio analisados.....	24
Figura 6.2 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-02, mostrando três fases minerais distintas presentes em cristais de ilmenita, rutilo e titanita.....	26
Figura 6.3 - Diagrama composicional para os cristais de granada, clorita, hornblenda e clinopiroxênio que foram analisados.....	26
Figura 6.4 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-02, exibindo as variações composicionais nas coronas de granada.....	29
Figura 6.5 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-06a, exibindo a diminuição do Ca presente nos cristais de plagioclásio.....	31
Figura 6.6 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-05, exibindo a alteração dos cristais de hornblenda para clorita.....	32
Figura 6.7 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-05, mostrando a interação entre os cristais de hornblenda e biotita na rocha.....	33

Figura 6.8 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra PPV-V-16, exibindo coronas metamórficas de titanita em torno de cristais de ilmenita.....	34
Figura 6.9 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra PPV-V-16, variações internas proveniente da oxidação de cristais de pirita.....	35
Figura 6.10 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-06b, mostrando cristais de clinopiroxênio, plagioclásio e hornblenda.....	38
Figura 6.11- Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-06b, mostrando cristais de clinopiroxênio, biotita e pirita.....	39
Figura 6.12 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-06b, mostrando cristais de clinopiroxênio, hornblenda e barita.....	39
Figura 7.2 - Aspectos microestruturais pertencente a condições de regime dúctil no plúton Carreira Comprida.	43
Figura 7.3 - Texturas coroníticas presentes no plúton Carreira Comprida.	45
Figura 7.4 - Fotomicrografia mapeando a variação composicional no interior do plagioclásio.....	46
Figura 7.5 - Bandamento composicional presente nos anortositos miloníticos.	47
Figura 8.1 - Grade petrogenética exibindo as condições de pressão e temperatura durante o metamorfismo e o retrometamorfismo indicente no ACC.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química semiquantitativa obtida por análises de MEV/EDS em megacristais de plagioclásio inseridos no domínio dos anortositos com feições magmáticas preservadas.....	24
Tabela 2 - Composição química semiquantitativa obtida por análises de MEV/EDS em cristais de ilmenita, rutilo e titanita nos anortositos com feições magmáticas preservadas.....	25
Tabela 3 - Composição química semiquantitativa obtida por análises de MEV/EDS para cristais de granada no domínio em anortositos com feições magmáticas preservadas.....	27
Tabela 4 - Composição química semiquantitativa obtida por análises de MEV/EDS para cristais de clorita no domínio dos anortositos com feições magmáticas preservadas.	28
Tabela 5 - Composição química semiquantitativa obtida por análises de MEV/EDS em cristais de plagioclásio inseridos nos meta-anortositos da região de Porto Nacional.	30
Tabela 6 - Valores de concentrações de elementos químicos obtidos por MEV/EDS para cristais de anfibólio nos meta-anortositos da região de Porto Nacional.	30
Tabela 7 - Valores de concentrações de elementos químicos obtidos por MEV/EDS para cristais de clorita nos meta-anortositos da região de Porto Nacional.	31
Tabela 8 - Valores de concentrações de elementos químicos obtidos por MEV/EDS para cristais de biotita nos meta-anortositos da região de Porto Nacional.....	32
Tabela 9 - Valores de concentrações de elementos químicos obtidos por MEV/EDS para cristais de ilmenita nos meta-anortositos da região de Porto Nacional.	34
Tabela 10 - Valores de concentrações de elementos químicos obtidos por MEV/EDS para cristais de titanita nos meta-anortositos da região de Porto Nacional.	34
Tabela 11 - Valores de concentrações de elementos químicos obtidos por MEV/EDS para sulfetos nos meta-anortositos da região de Porto Nacional.	35
Tabela 12 - Composição química semiquantitativa obtida por análises de MEV/EDS em porfiroclastos de plagioclásio dos anortositos miloníticos da região de Porto Nacional.....	36
Tabela 13 - Composição química semiquantitativa obtida por análises de MEV/EDS cristais de clinopiroxênio nos anortositos miloníticos da região de Porto Nacional.....	37
Tabela 14 - Composição química semiquantitativa obtida por análises de MEV/EDS cristais de anfibólio presentes em anortositos miloníticos da região de Porto Nacional.	37

Tabela 15 - Composição química semiquantitativa obtida por análises de MEV/EDS de um cristal de biotita no domínio composto por anortositos miloníticos.....	38
Tabela 16 - Valores de concentrações de elementos químicos obtidos por MEV/EDS para cristais de ilmenita nos anortositos miloníticos da região de Porto Nacional.....	39
Tabela 17 - Valores de concentrações de elementos químicos obtidos por MEV/EDS para cristais de sulfetos, divididos entre pirita e barita, ambos presentes nos anortositos miloníticos da região de Porto Nacional	40

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO.....	IV
ABSTRACT	VIII
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	viii
LISTA DE TABELAS	XI
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA	1
1.3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO E MÉTODOS APLICADOS	3
1.3.1 Pesquisa bibliográfica.....	4
1.3.2 Levantamento de dados cartográficos e de sensoriamento remoto	4
1.3.3 Levantamentos de campo.....	4
1.3.4 Análise petrográfica	5
1.3.5 Análise mineralógica	5
2 GEOLOGIA REGIONAL.....	6
2.1 PROVÍNCIA TOCANTINS	6
2.2 MACIÇO DE GOIÁS	6
2.3 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	7
2.3.1 Complexo Porto Nacional.....	7
2.3.2 Corpos graníticos.....	8
3 HISTÓRICA DO CONHECIMENTO DO ANORTOSITO CARREIRA COMPRIDA	9
4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ANORTOSITOS.....	11
5 GEOLOGIA E PETROGRAFIA	13
5.1 ANORTOSITOS COM FEIÇÕES MAGMÁTICAS PRESERVADAS	15
5.2 META-ANORTOSITOS	18
5.2.1 ANORTOSITOS MILONÍTICOS.....	21

6	ANÁLISES MINERALÓGICAS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	24
6.1	ANORTOSITOS COM FEIÇÕES MAGMÁTICAS PRESERVADAS	24
6.1.1	Plagioclásio.....	24
6.1.2	Minerais opacos e titanita.....	25
6.1.3	Granada.....	26
6.1.4	Clorita.....	28
6.2	META-ANORTOSITOS	29
6.2.1	Plagioclásio.....	29
6.2.2	Anfibólio.....	30
6.2.3	Clorita.....	31
6.2.4	Biotita	32
6.2.5	Titanita e minerais opacos.....	33
6.3	ANORTOSITOS MILONÍTICOS	35
6.3.1	Plagioclásio.....	36
6.3.2	Piroxênio	36
6.3.3	Anfibólio.....	37
6.3.4	Biotita	38
6.3.5	Minerais opacos.....	39
7	ANÁLISE MICROESTRUTURAL	41
7.1	INTRODUÇÃO	41
7.2	MICROESTRUTURAS.....	41
7.2.1	Estruturas Primárias	41
7.2.2	Estruturas Tectônicas	42
8	CONSIDERAÇÕES ACERCA DO METAMORFISMO ATUANTE NO ANORTOSITO CARREIRA COMPRIDA.....	48
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFERÊNCIAS	52
	APÊNDICE A	55

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

A elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é uma atividade obrigatória de acordo com o Art. 7º do regimento interno da Faculdade de Geologia, sendo a monografia e sua defesa perante uma banca examinadora obrigatória para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia pela Universidade Federal do Pará. A presente monografia aborda o magmatismo, metamorfismo e deformação do Anortosito Carreira Comprida (ACC) localizado na região de Porto Nacional – TO.

O ACC encontra-se inserido no contexto geológico da Província Tocantins, especificamente no domínio norte do Maciço de Goiás, sendo afetado pela Zona de Cisalhamento Porto Nacional (ZCPN) (Gorayeb 1996). O Maciço de Goiás corresponde a um bloco crustal Arqueano-Paleoproterozoico localizado entre cinturões orogênicos do Neoproterozoico, na porção mediana da Província Tocantins, composto por rochas gnáissicas, granulíticas e diferentes tipos granitoides (Almeida *et al.* 1981, Gorayeb *et al.* 2001).

Considerando os dados da literatura sobre o Anortosito Carreira Comprida, são incipientes as informações do ponto de vista petrográfico e das transformações tectônicas e metamórficas causadas pela Zona de Cisalhamento Porto Nacional que afeta grande parte do corpo. Deste modo, o trabalho aqui apresentado produziu dados petrográficos, microestruturais e de química mineral através de análises semiquantitativas em MEV/EDS, que foram complementados por estudos sobre as transformações metamórficas que acometeram o corpo estudado, visando estimar as condições de temperatura e pressão durante o evento de metamorfismo dinâmico. A partir da integração e análise dos dados obtidos, objetiva-se a caracterização petrográfica e microestrutural do Anortosito Carreira Comprida, assim como estabelecer o vínculo entre deformação e condições metamórficas presentes, importantes para interpretações do significado desta unidade magmática na evolução deste domínio inserido no Maciço de Goiás.

1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA

A definição e delimitação da área de trabalho foi realizada a partir dos mapas geológicos e de amostragem elaborados por Gorayeb (1996) e pelo mapa geológico de Ribeiro & Alves (2017), baseando-se nos pontos onde o Anortosito Carreira Comprida aflora. A área de trabalho

corresponde a um polígono localizado na margem oeste do Rio Tocantins, entre as cidades de Porto Nacional e Brejinho de Nazaré, no Estado do Tocantins (Figura 1.1).

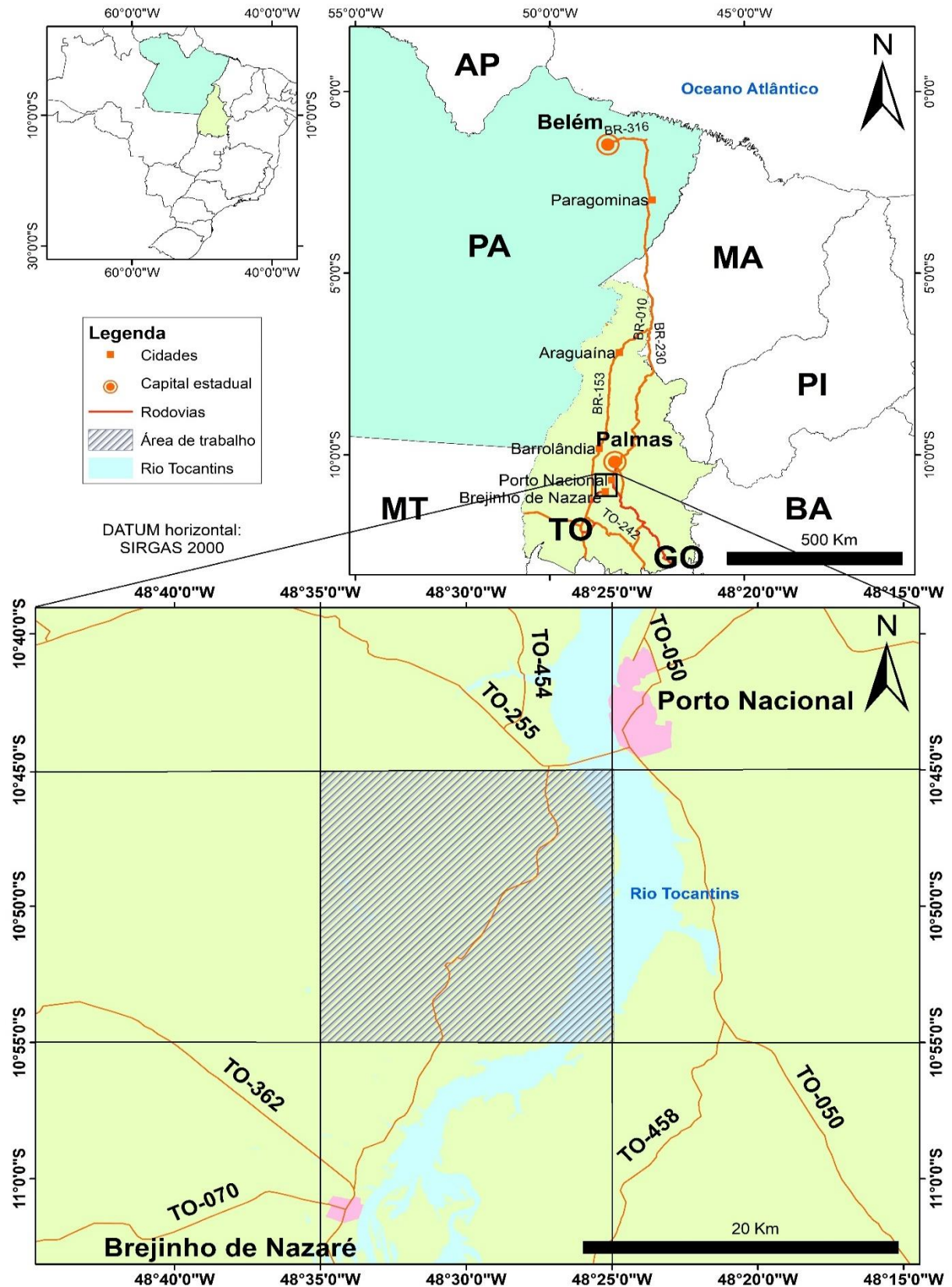


Figura 1.1 - Mapa de localização e vias de acesso à área de estudo e a cidade de Porto Nacional.

O acesso rodoviário para o município de Porto Nacional, a partir de Belém, pode ser realizado utilizando-se a rodovia BR-316 até a cidade de Santa Maria do Pará, depois dirigindo-se a sul a seguindo a BR-010 passando por Paragominas (PA) e Imperatriz (MA) até Porto Franco (MA) onde ocorre a mudança do nome desta rodovia para BR-226. Seguindo à Araguaína até Paraíso do Tocantins, através da TO-080 para a cidade de Palmas. O trajeto final entre Palmas e Porto Nacional é realizado pela TO-050, por cerca de 50 quilômetros no sentido sul, ao longo da margem direita do Rio Tocantins. O acesso à área de trabalho é realizado por meio da rodovia estadual TO-255.

A área de trabalho consiste em um polígono delimitado pelas coordenadas: 10°45'0"; 10°55'o" (Lat) e 48°35'0"; 48°25'0" (Long), inserida na folha Porto Nacional (SC.22-Z-B-E) (Figura 1.1).

1.3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO E MÉTODOS APLICADOS

O desenvolvimento deste estudo foi realizado envolvendo etapas de pesquisa bibliográfica, levantamento de dados cartográficos, interpretação de sensores remotos, trabalhos de campo, análises petrográficas e análises mineralógicas. Seguindo as etapas de obtenção de dados, foram realizadas integração, discussão e interpretação dos dados obtidos, culminando na elaboração desta monografia. As atividades realizadas e suas respectivas etapas são ilustradas no fluxograma da Figura 1.2.



Figura 1.2 - Fluxograma acerca do desenvolvimento da monografia e a metodologia adotada. Fonte: Elaborado pelo autor.

1.3.1 Pesquisa bibliográfica

A primeira etapa do estudo consistiu na pesquisa bibliográfica acerca do conhecimento geológico sobre o Anortosito Carreira Comprida suas unidades litoestratigráficas associadas e outros dados geológicos acerca da região de Porto Nacional. Igualmente, foi realizado o levantamento de dados acerca do Lineamento Transbrasiliano onde encontra-se o corpo estudado. A abordagem também envolveu leituras de conceitos sobre a geologia estrutural, microtectônica, petrologia de complexos gabroico-anortosíticos e o metamorfismo em rochas máficas, visando consolidar o conhecimento teórico necessário para entender a evolução dessas rochas. Os levantamentos bibliográficos envolvendo artigos científicos, relatórios de projetos, dissertações e teses, livros texto e mapas foram tidos como etapas fundamentais, utilizados como base para o entendimento, aperfeiçoamento e produção de novas informações.

1.3.2 Levantamento de dados cartográficos e de sensoriamento remoto

Na segunda etapa de trabalho, foram realizados o levantamento de dados cartográficos acerca da região de ocorrência do Anortosito Carreira Comprida e unidades associadas, resultando na delimitação da área de estudo.

Também foram realizados trabalhos de fotointerpretação a partir de produtos de sensoriamento remoto (imagens de satélite, radar), os quais foram integrados aos demais dados cartográficos que resultou na elaboração de um mapa-base para ser utilizado durante os trabalhos de campo. Nesta fase foram utilizados os softwares *ArcGIS 10.5*, *Google Earth Pro*, *Avenza Maps* e o serviço de navegação GeoSBG através do navegador de internet.

1.3.3 Levantamentos de campo

A execução dos trabalhos de campo foi realizada no período de 3 a 8 de novembro de 2018, objetivando-se o reconhecimento geológico da região de Porto Nacional e a identificação da área de ocorrência do Anortosito Carreira Comprida e dos melhores acessos aos afloramentos. Assim, foram percorridas estradas principais e vicinais de fazendas onde foram coletados dados sobre as relações de contato entre o corpo anortosítico e suas litologias encaixantes, medidas de atitudes de feições estruturais e amostragem sistemática para estudos laboratoriais, tendo sido utilizados os dados cartográficos obtidos na etapa anterior proporcionando o uso dos melhores acessos e ocorrências na área de trabalho. No total foram visitados 8 afloramentos, com 12 amostras coletadas e 7 medidas estruturais.

1.3.4 Análise petrográfica

Esta atividade metodológica permitiu descrever, identificar e classificar os tipos petrográficos em amostras de mão e lâminas delgadas. Sua classificação é dada conforme os atributos mineralógicos, texturais, microestruturais e a composição modal identificada em cada amostra. As análises petrográficas e obtenção de fotomicrografias foram feitas em microscópios petrográficos ZEISS e LEICA disponíveis nos laboratórios de petrografia da Faculdade de Geologia e do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geociências da UFPA. A classificação dos litotipos foi baseada nas recomendações de Le Maitre (2002) e Fettes & Desmons (2007). A análise microestrutural e microtectônica foi baseada nas orientações de Passchier & Trouw (1996). Também servindo como literatura de apoio petrológico e petrográfico foram utilizadas as referências de Deer *et al.* (1966), Strekeisen (1974), Spear (1994), Best (1995), Le Maitre (2002), Vernon (2004), Trouw *et al.* (2009), Fossen (2010) e Winter (2010).

1.3.5 Análise mineralógica

As análises mineralógicas foram realizadas por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV) no Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, que permitiu uma boa precisão na identificação das fases minerais, caracterização de minerais não identificados pela microscopia ótica, e consolidação de tipos minerais já identificados. Foram analisadas 6 lâminas polidas, devidamente metalizadas com carbono para obtenção de imagens de elétrons retroespalhados utilizando o equipamento Zeiss SIGMA-VP. Análises composicionais foram realizadas por meio do EDS (*energy dispersive spectroscopy*), acoplado ao MEV Zeiss do tipo EDS IXRF modelo Sedona-SD, ambos pertencentes ao Instituto Tecnológico Vale (ITV) e cedidos em contrato de comodato para a UFPA.

2 GEOLOGIA REGIONAL

2.1 PROVÍNCIA TOCANTINS

A Província Tocantins (Almeida *et al.* 1977), consiste em um sistema orogênico do Neoproterozoico, localizado na porção central do Brasil, delimitado situado entre os crátons Amazônico e São Francisco e coberto parcialmente pelas bacias sedimentares paleozoicas do Parnaíba e Paraná (Figuras 2.1 e 2.2). A província é dividida em três regiões distintas: Central compreendendo a porção meridiana do Maciço de Goiás; Leste correspondendo aos cinturões Brasília e Uruaçu e Oeste, incluindo os cinturões Paraguai e Araguaia (Almeida *et al.* 1981). A unidade é composta por fragmentos cratônicos arqueanos e paleoproterozoicos, circundados pelos cinturões Paraguai, Araguaia e Brasília com formação atribuída a eventos colisionais envolvendo os crátons Amazônico, São Francisco e Paranapanema, relacionados à formação do supercontinente Gondwana ao final do Neoproterozoico (Ribeiro & Alves 2017).

2.2 MACIÇO DE GOIÁS

Inserido no contexto geológico da porção central da Província Tocantins, o Maciço de Goiás representa um antigo bloco crustal rodeado por cinturões neoproterozoicos: Araguaia a oeste e Brasília na direção leste. É composto por um conjunto de fragmentos crustais arqueanos associados a áreas neoproterozoicas em ambientes de arco magmático, como o Arco Magmático de Goiás (Figura 2.2), localizado na porção ocidental do Cinturão de Brasília sendo caracterizado por rochas cálcio-alcálinas pertencentes a sequências vulcanossedimentares e seus correspondentes plutônicos representados por tonalitos e granodioritos (Fuck *et al.* 1987, Gorayeb *et al.* 2017). Segundo Pimentel & Fuck (2004) esta unidade passou por transformações metamórficas atribuídas ao pico principal do evento tectono-metamórfico do Ciclo Brasileiro, tendo como referência idade U-Pb em titanita de 600 ± 50 Ma.

O Maciço de Goiás apresenta *trend* estrutural preferencialmente orientado segundo NNE-SSW, definido por um sistema de cavalgamento regional que mescla rochas de diferentes níveis crustais e se estende entre as regiões do Gurupi a Porangatu (Gorayeb *et al.* 2000). A unidade apresenta ampla diversidade litológica proporcionada por distintos processos termo-tectônicos, apresentando complexos gnáissicos, granulíticos, suítes gabbroicas, corpos anortosíticos, sequências metassedimentares e granitoides neoproterozoicos que por fim foram cobertos por formações sedimentares paleozoicas correspondentes a Bacia do Parnaíba (Gorayeb & Moura 2001).

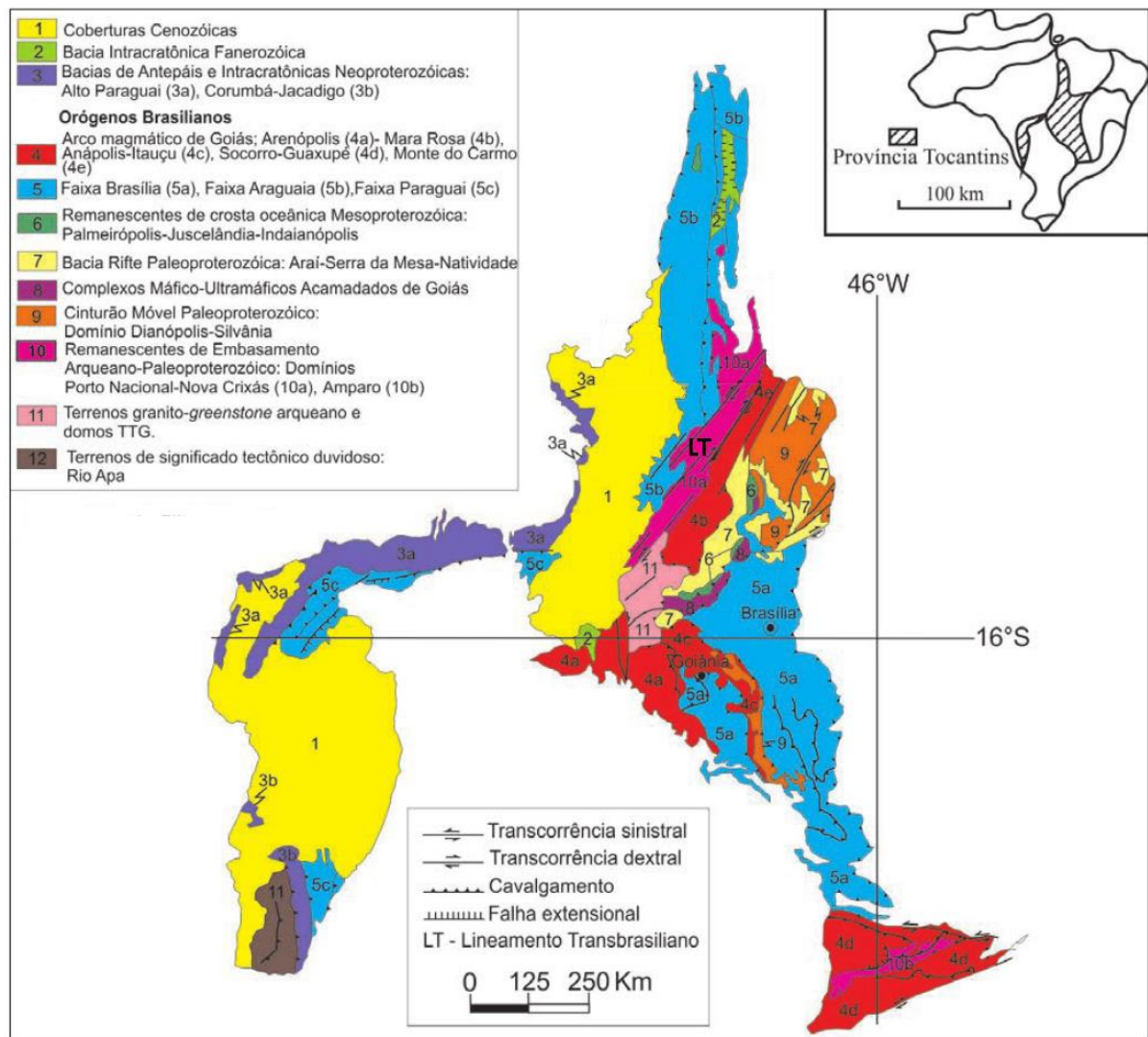


Figura 2.1 - Mapa tectônico da Província Tocantins. Fonte: Adaptado de Ribeiro & Alves (2017).

2.3 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

2.3.1 Complexo Porto Nacional

O Complexo Porto Nacional, definido por Costa *et al.* (1982), é caracterizado como um fragmento cratônico remanescente do embasamento paleoproterozoico da Província Tocantins, sendo disposto ao longo de 100 km em uma faixa alongada na direção NNE-SSW, concordantemente ao *trend* estrutural presente na porção norte do Maciço de Goiás (Gorayeb *et al.* 2000).

Esta unidade é constituída predominantemente por rochas metamórficas de alto grau metamórfico, em condições de fácies granulito de média a alta pressão, estando presente dois conjuntos litológicos distintos. O primeiro conjunto é caracterizado por ortogranulitos máficos,

intermediários e félsicos, incluindo enderbitos, metagabronoritos, charnoenderbitos e charnockitos, com variações internas de cor e granulometria; o segundo conjunto é composto por rochas supracrustais, apresentando gnaisses aluminosos tais como: sillimanita-cianita gnaisses; granada gnaisses e gonditos. Estruturalmente ambos os conjuntos se encontram interligados por meio de zonas de cisalhamento transcorrente e imbricações tectônicas (Frasca & Araújo 2001, Gorayeb 1996, Gorayeb *et al.* 2000). Análises geocronológicas pelo método de evaporação de chumbo em zircão revelam idades próximas a 2.1 Ga para a unidade (Gorayeb *et al.* 2000).

2.3.2 Corpos graníticos

A região contém uma série de corpos graníticos previamente identificados por Gorayeb *et al.* (2001), divididos em dois corpos graníticos aflorantes representados por dois eventos magmáticos distintos, correspondendo as suítes Ipueiras e Lajeado, de idade Paleo- e Neoproterozoica, respectivamente.

Primeiramente definida por Cunha *et al.* (1981) como Suíte Plutono-Vulcano Ipueiras, afim de agrupar os corpos graníticos pós-orogênicos aflorantes na região, a Suíte Intrusiva Ipueiras encontra-se inserida no contexto geológico da porção norte do Maciço de Goiás, sendo composta por quatro plútons graníticos do Paleoproterozoico, Areias, Ipueiras, Itália e do Carmo com idade de 2.08 Ga por meio da evaporação de Pb em cristais de zircão (Chaves *et al.* 2008). A suíte é composta por granitos do tipo A.

Os corpos graníticos do Neoproterozoico são referentes à Suíte Intrusiva Lajeado, sendo primeiramente identificados por Costa *et al.* (1984) e posteriormente redefinidos por Gorayeb *et al.* (2001). A Suíte Lajeado incorpora quatro corpos graníticos distintos: Aroeira, Lajeado, Matança e Palmas, cujos corpos têm dimensões que variam entre batólitos e stocks, contínuos ou separados por falhas. A unidade é composta por monzogranitos, sienogranitos, granodioritos, álcali feldspato granitos, quartzo monzonitos, sienitos, quartzo monzodioritos, tonalitos e charnockitos que apresentam textura porfirítica, fenocristais com bordas corroídas, feldspato alcalino perítico e cristais de feldspatos orientados evidenciando fluxo magmático.

3 HISTÓRICA DO CONHECIMENTO DO ANORTOSITO CARREIRA COMPRIDA

O primeiro registro acerca da ocorrência de rochas máficas na região de Porto Nacional é conferida a Barbosa *et al.* (1966), em levantamentos estratigráficos, estruturais e econômicos na escala regional, de reconhecimento no Projeto Araguaia realizado por um convênio DNPM-CPRM durante a década de 1960. Neste trabalho os afloramentos do ACC são descritos como rochas portando cristais de plagioclásio centimétricos que afloram em uma extensão de 4 km no leito do Rio Tocantins ao longo da Corredeira Carreira Comprida.

Durante a década de 1980, por meio de levantamentos geológicos realizados pelo projeto RADAM, na escala de 1:1.000.000, Cunha *et al.* (1981) referem-se a rochas básicas e ultrabásicas inseridas na Folha Tocantins (SC.22), especificamente presente na Folha Porto Nacional (SC.22-Z-D).

Por meio de outro convênio entre o DNPM – CPRM - UFPA, Costa *et al.* (1982) em levantamento na escala de 1:1000.000 discriminam litologias granulíticas máficas presentes na região de Porto Nacional sem identificação dessas rochas.

Gorayeb (1996), em sua tese de doutorado, com mapeamento na escala de 1:250.000 foi o primeiro a utilizar a denominação Anortosito Carreira Comprida hierarquizando-o como nova unidade litoestratigráfica, cuja referência foi a Corredeira Carreira Comprida, na margem do Rio Tocantins a sul de Porto Nacional, onde se localizavam diversos afloramentos do plúton. Este trabalho é marcado pelo aprofundamento das descrições petrográficas e pela contextualização geológica do corpo anortosítico.

Posteriormente Gorayeb & Moura (2001) realizaram estudos geocronológicos pelo método da evaporação de Pb em zircão indicando idade média de 2.07 Ga considerada como idade mínima para a colocação do ACC no Paleoproterozoico.

Frasca & Araújo (2001) associaram o ACC a rochas gabroides adjacentes a unidade, assim agrupando-o a outras rochas máficas e ultramáficas que ocorrem a leste do rio Tocantins, na região de Porto Nacional.

Lima (2007) caracterizou os corpos máficos-ultramáficos aflorantes próximos ao ACC em dois grupos distintos, o primeiro é o próprio ACC, que denominaram de “Intrusão Carreira Comprida”, juntamente com a “Intrusões Morro da Mata” e “Intrusão Rio Crixás”, a oeste do Lineamento Transbrasiliano. O outro grupo consistia nas unidades a leste deste lineamento. O

autor também atribuiu a idade de 530 Ma aos corpos anortosíticos por meio de datações U-Pb em cristais de zircão em rochas máficas pertencentes a “Intrusão Rio Crixás”.

Ribeiro & Alves (2017) em relatório da CPRM sobre as folhas Miracema do Norte, Santa Teresinha e Porto Nacional, reuniu os dados obtidos em trabalhos anteriores e acrescentou análises químicas, descrições petrográficas, imagens aeromagnetométricas e aerogamaespectrométricas com o propósito de delimitar melhor o plúton.

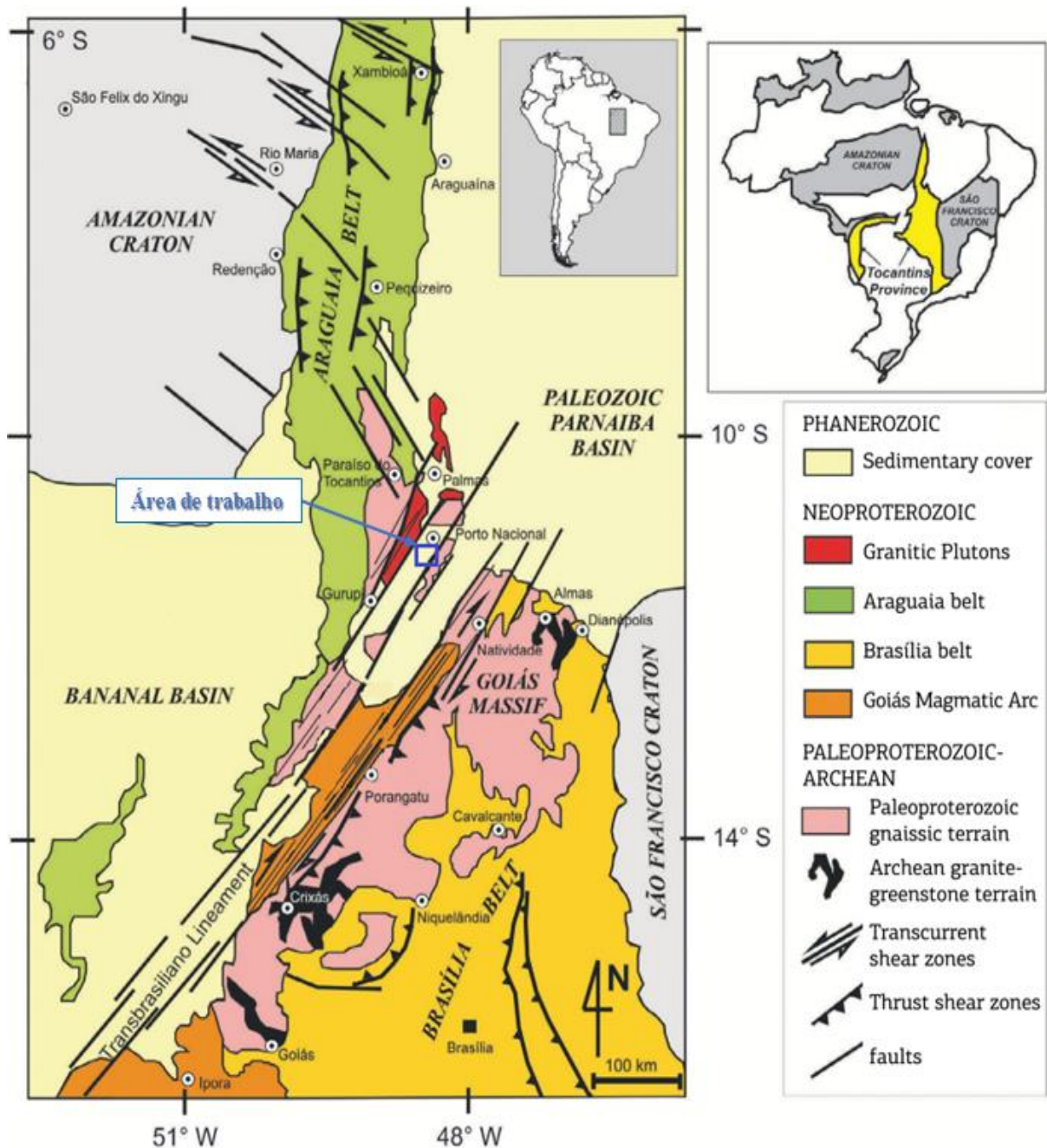


Figura 2.2 - Localização e contextualização geológica/cartográfica da área de estudo, inserida na Folha Porto Nacional e localizada na porção leste do Complexo Granulítico de Porto Nacional. Fonte: Figura adaptada de Gorayeb *et al.* (2017).

4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ANORTOSITOS

Segundo as definições de Strekeisen (1974) e Le Maitre (2002), anortositos são rochas plutônicas formadas por 90 a 100% de plagioclásio, comumente associadas a intrusões grabroicas devido à similaridade entre as assembleias de minerais de alta temperatura (plagioclásio cálcico e piroxênios) presentes em ambas rochas. Do ponto de vista temporal e formacional, são divididos em três tipos principais: Anortositos lunares, arqueanos e proterozoicos.

O conhecimento acerca dos anortositos encontrados em crosta lunar são provenientes de amostras coletadas pela missão *Apollo 11* na área de aterrissagem em *Mare Tranquilitatis*, revelando a presença de anortositos brechados devido a interação frequente da superfície lunar com meteoritos. Os anortositos lunares apresentam alto teor de Si, Ca e Al com pouco Na e Fe. O plagioclásio presente nesses anortositos é extremamente cálcico com composições variando entre An₉₄₋₉₉ (Winter 2010).

Anortositos arqueanos estão associados a suítes máficas inseridas em terrenos gnaissicos de alto grau, apresentando megacristais arredondados de plagioclásio circundados por uma matriz de minerais máficos. Sua colocação é feita por meio de *sills* encaixados em rochas supracrustais, sendo frequentemente constituintes de *greenstone belts* (Winter 2010). Estes anortositos caracterizam-se por apresentarem aglomerados de cristais de plagioclásio com morfologia semelhante a “flocos de neve” (*snowflake plagioclase clusters*) de composição cálcica (An₈₀₋₉₅) (Winter 2010). Sua formação está relacionada ao fracionamento de magmas basálticos toleíticos ricos em Fe, Al e Ca (Ashwal 1993, Ashwal & Myers 1994). Segundo esses autores, o alto teor de Fe nesses magmas indica que sua origem não é diretamente mantélica, sendo produto da diferenciação de magmas de composição basáltica, pricrítica ou até mesmo komatiítica.

Os anortositos proterozoicos ou anortositos maciços, apresentam corpos maiores e relativamente mais abundantes que sua contraparte arqueana, tendo cristais de plagioclásio com hábito tabular e de composição menos cálcica (An₄₀₋₆₅). Possuem matriz reduzida e com menor teor de minerais máficos *intercumulus* e são frequentemente associados a corpos granitóides. Grande parte dos corpos de anortositos proterozoicos são formados a partir de múltiplas intrusões dentre intervalo de 20-30 Ma. (Ashwal 1993, Winter 2010). Além da formação de anortositos *stricto sensu* (Plg>90%), o processo de formação desses anortositos pode formar tipos rochosos com mais de 10% de minerais máficos, excedendo o limite de 90% de

plagioclásio para os anortositos *stricto sensu*, sendo frequente a presença de leuconoritos, leucogabros ou leucotroctolitos associados aos corpos anortosíticos. A presença de ortopiroxênio rico em Al aponta pressões entre 10 e 13 Kbar na sua formação, indicando nível crustal profundo entre 35 a 45 km. (Ashwal 1993). A formação dos anortositos proterozoicos é dada a partir do fracionamento de magmas basálticos toleíticos com baixo $\#Mg$ ($MgO/[MgO + FeO]_{molar}$) e concentração de Al_2O_3 próxima a 18%, sendo semelhante ao magma parental dos anortositos arqueanos. No Brasil, as suítes Anortosito-Mangerito-Granito Rapakivi (AMG) de Roraima (Fraga, 2002) e o Anortosito Capivarita (Philipp 2010) correspondem a exemplos de ocorrência de corpos anortosíticos do tipo proterozóico.

De acordo com Ashwal (1993), o modelo de formação para anortosíticos proterozoicos envolve a participação de plumas mantélicas induzindo a fusão do manto peridotítico, no campo de estabilidade do espinélio lherzolito ou do plagioclásio lherzolito, promovendo a formação de um *melt* basáltico aluminoso que se instala na base da crosta (Figura 4.1).

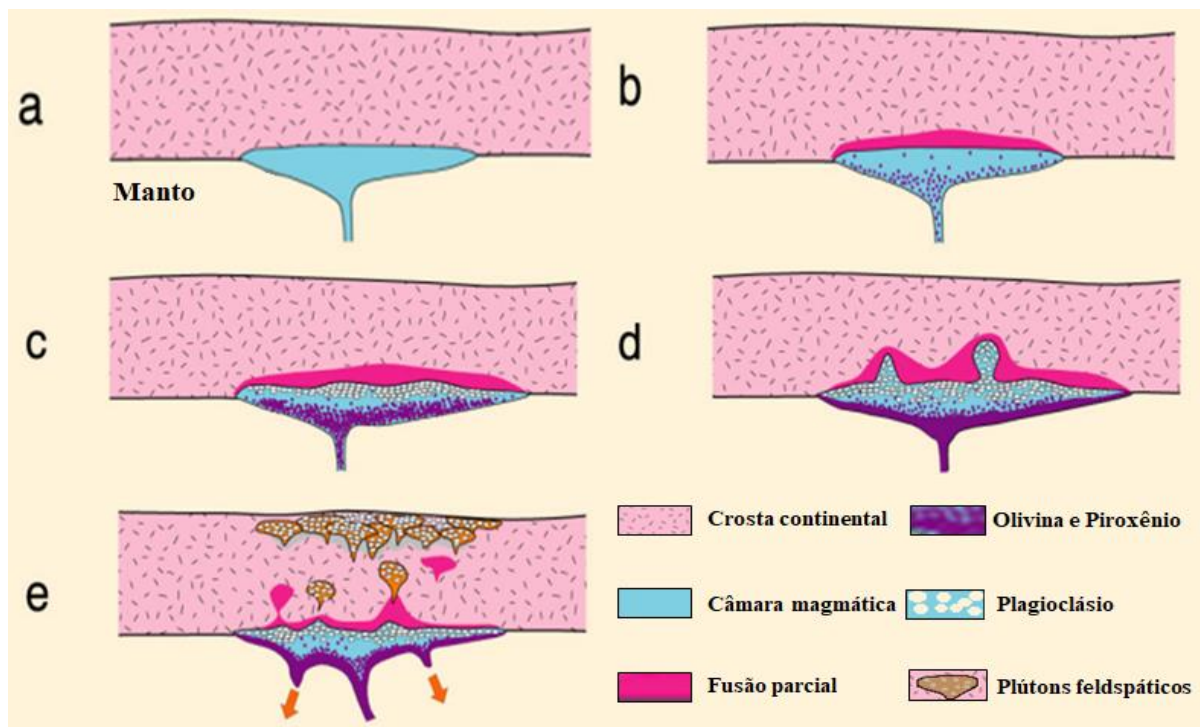


Figura 4.1 - Modelo de formação para anortositos do tipo maciço. a) *underplating* do magma proveniente do manto; b) aquecimento da crosta continental resultando na sua fusão parcial e formação de *melts* granitídeos, promovendo o enriquecimento de plagioclásio e piroxênio no líquido residual, que é assimilado pelo *melt* basáltico; c) formação e alojamento dos megacristais de plagioclásio no topo da câmara magmática por meio do contraste entre as densidades dos cristais e a fase líquida residual; d) os aglomerados feldspáticos se tornam menos densos que a crosta continental acima, permitindo sua ascensão a níveis crustais mais rasos; e) os plútons ricos em plagioclásio coalescem para formar anortositos maciços, ao passo que *melts* granitídeos ascendem para porções mais rasas da crosta. Os cumulos máficos (Ol + Px) permanecem no fundo da câmara magmática, podendo ou não afundarem de volta ao manto formando as demais rochas máficas-ultramáficas. Figura adaptada de Ashwal (1993)..

5 GEOLOGIA E PETROGRAFIA

O Anortosito Carreira Comprida constitui um plúton de 25 km de comprimento por 10 km de largura alongado na direção NNE-SSW, aflorante desde a margem do rio Tocantins seguindo até as encostas das serras da Aroeira e Malhadinha a oeste. Os principais afloramentos foram encontrados próximos à vila Malhadinha e nas fazendas Landi e Senhor do Bonfim, antiga Fazenda Angico, conforme exibido na Figura 5.1 (Gorayeb 1996, Gorayeb & Moura 2001).

Adjacentes ao ACC, estão presentes as unidades geológicas correspondentes ao Complexo Porto Nacional, Suíte Lajeado, Formação Morro do Aquiles e localmente coberturas sedimentares pertencentes ao Grupo Serra Grande ou por sedimentação quaternária (Figura 5.1). O Complexo Porto Nacional é caracterizado por: granulitos máficos, enderbitos e charnockitos com foliação preferencial na direção NE-SW (Gorayeb 1996). Os corpos graníticos presentes são caracterizados pelos granitos Areias e Aroeira, o Granito Areia é classificado como biotita monzogranito de granulação grossa, estando localmente fina, devido ao cisalhamento da unidade (Chaves *et al.* 2008). Já o Granito Aroeiras apresenta variação composicional entre os campos dos sienogranitos e monzogranitos são rochas de cor rosa apresentando granulação fina que localmente encontra-se média (Ribeiro & Alves 2017). A Formação Morro do Aquiles é caracterizada por rochas metamórficas paraderivadas, sendo composta predominantemente por xistos contendo granada, estauroлита, cordierita, grafita, andaluzita, sillimanita e feldspatos, apresentando subordinadamente paragnaisses aluminosos, anfíbolitos, gonditos e ortognaisses (Gorayeb 1996). Localmente esta unidade encontra-se encoberta por sequências sedimentares pertencentes ao Grupo Serra Grande ou por sedimentação quaternária.

Os anortositos são rochas de cor cinza escura, localmente apresentando tons azulados e esverdeados. A presença de cristais centimétricos de plagioclásio (até 4 cm) caracterizam a granulação grossa ou muito grossa das rochas originais. Localmente a unidade apresenta granulação média ou fina devido a cominuição mineral promovida pela deformação ao longo da Zona de Cisalhamento Porto Nacional. A rocha encontra-se intensamente deformada e metamorfizada, apresentando estruturas internas miloníticas tais como: foliação milonítica; orientação preferencial de porfiroclastos alongados e de aglomerados recristalizados de plagioclásio; feições de estiramento de quartzo e plagioclásio; bandamento tectônico; recristalização dinâmica resultando na formação de cristais com extinção ondulante, encurvamento dos maclamentos polissintéticos, rotação e formação de subgrãos.

A associação mineral metamórfica é definida por por hornblenda, granada, clorita, biotita, epidoto, titanita e rutilo, previamente identificados por Gorayeb (1996), Gorayeb & Moura (2001), Lima (2007). Localmente a rocha ainda apresenta estruturas ígneas reliquias caracterizadas por texturas *cumulus* e *intercumulus*, orientação preferencial de cristais tabulares de plagioclásio indicando textura de fluxo magmático, ambos inerentes ao processo de formação dos anortositos maciços, como previamente discutido.

A partir dos dados coletados durante os trabalhos de campo, análises petrográficas e observações macro- e microestruturais, o ACC foi dividido em três grupos petrográficos distintos que serão descritos a seguir.

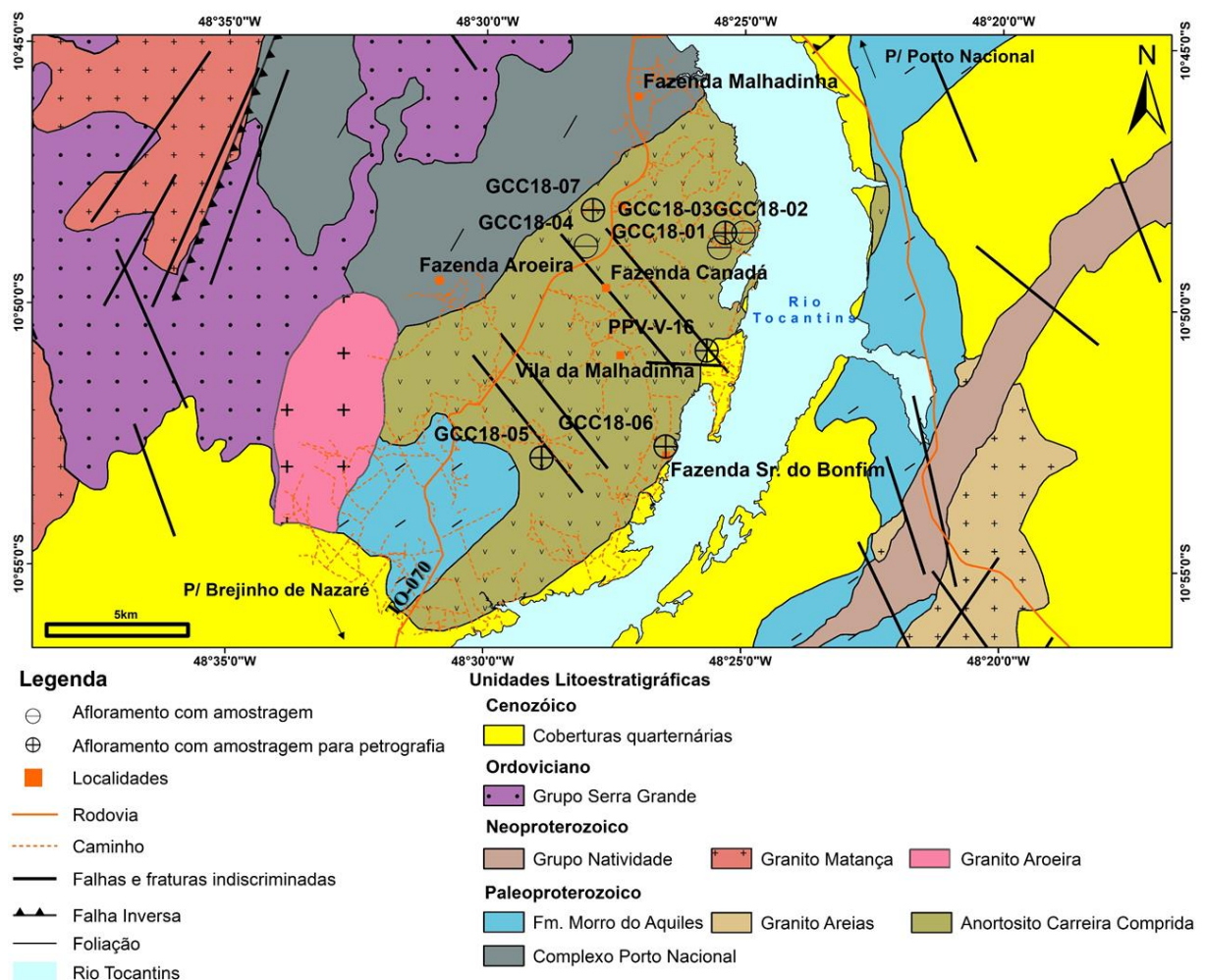


Figura 5.1 - Distribuição das amostragens realizadas durante o estudo do ACC. Fonte: Adaptado de Gorayeb (1996).

Estruturalmente, o ACC encontra-se inserido na Zona de Cisalhamento Porto Nacional (Figura 5.2), uma das compartimentações externas do Lineamento Transbrasiliano. Este setor estrutural é caracterizado pelo *trend* NE-SW, presença de rochas com forte trama milonítica, mistura entre as litologias, foliações com alto mergulho e transformações metamórficas intensas (Gorayeb 1996).

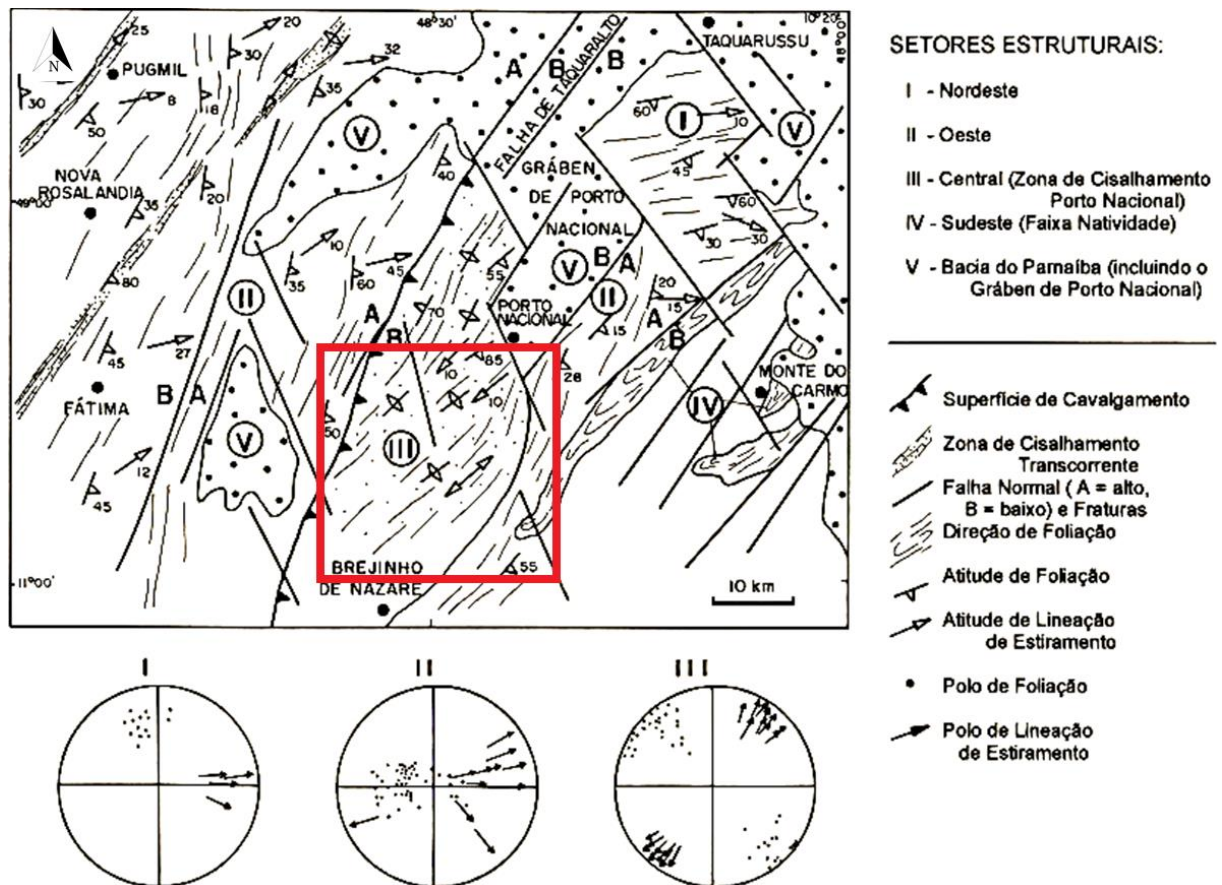


Figura 5.2 – Mapa estrutural da região de Porto Nacional com a localização da área de trabalho no setor estrutural III, inserida no contexto geológico da ZCPS (destacada em vermelho). Adaptado de Gorayeb (1996).

5.1 ANORTOSITOS COM FEIÇÕES MAGMATICAS PRESERVADAS

Este tipo está representado pelas amostras GCC/18-02 e GCC/18-03 localizadas na porção norte do plúton (Figura 5.1). É caracterizado por rochas de granulação grossa ou muito grossa, inequigranulares, com acamadamento magmático e textura cumulática, apresentando predominância de megacristais de plagioclásio com tamanhos de até 4 cm (Figuras 5.3a e 5.3b).

Este tipo petrográfico é predominantemente composto por megacristais cumulados de plagioclásio do tipo bytownita (An_{82}), com mineralogia intercumulada composta por clinopiroxênio e quartzo, os minerais acessórios presentes consistem em ilmenita, apatita e

zircão. Além desses minerais, estão presentes cristais de granada, clorita, epidoto e titanita relacionados ao metamorfismo.

O arranjo dos megacristais de plagioclásio é responsável pela textura cumulática proeminente na rocha, caracterizado por meio do encaixe entre os megacristais de plagioclásio e o preenchimento das porções intersticiais, intercumuláticas, por finos cristais de quartzo e clinopiroxênio (Figuras 5.3c e 5.3d). Neste tipo petrográfico também estão presentes texturas de fluxo magmático, caracterizada pela orientação subparalela entre os megacristais de plagioclásio (Figuras 5.3a e 5.3b).

Os megacristais de plagioclásio consistem nos tipos minerais mais abundantes da rocha, estão presentes na forma de grandes cristais tabulares ou em aglomerados poligonais recristalizados, tendo entre 2 a 4 cm de comprimento e geometria lenticular ou boudinada devido a deformação incidente no plúton (Figuras 5.3c e 5.3d).

O plagioclásio apresenta maclamento do predominante é do tipo albita, com maclamentos albita-carlsbad e albita-periclina ocorrendo subordinadamente. Por vezes, os maclamentos, encontram-se com suas extremidades dobradas e distorcidas, que podem ocasionar no total desaparecimento das maclas do mineral.

Microscopicamente, os contatos entre os demais minerais presentes na rocha são poligonais, no entanto também podem vir a ocorrer contatos interlobados e difusos. O plagioclásio encontra-se moderadamente alterado para clorita, epidoto e sericita (Figura 5.3c). No interior dos megacristais estão presentes inclusões de clorita, granada e quartzo (Figura 5.3d).

O clinopiroxênio é o principal constituinte da porção intercumulada da rocha, caracterizados como cristais de cor creme predominantemente subédricos, com tamanhos variando entre 0,3 a 1mm, e se encontram moderadamente alterados para clorita.

O quartzo está presente na porção intercumulada da rocha, constituindo cristais anédricos com tamanhos entre 1 a 4 mm. Normalmente os cristais de quartzo apresentam extinção ondulante e subgrãos.

Os minerais opacos estão presentes apenas na porção intercumulada da rocha, a partir de microscopia em luz refletida foram caracterizados por sua cor cinza marrom, ausência de pleocroísmo, refletância baixa, relevo alto e nítida anisotropia, sendo possível classificá-los como ilmenita.

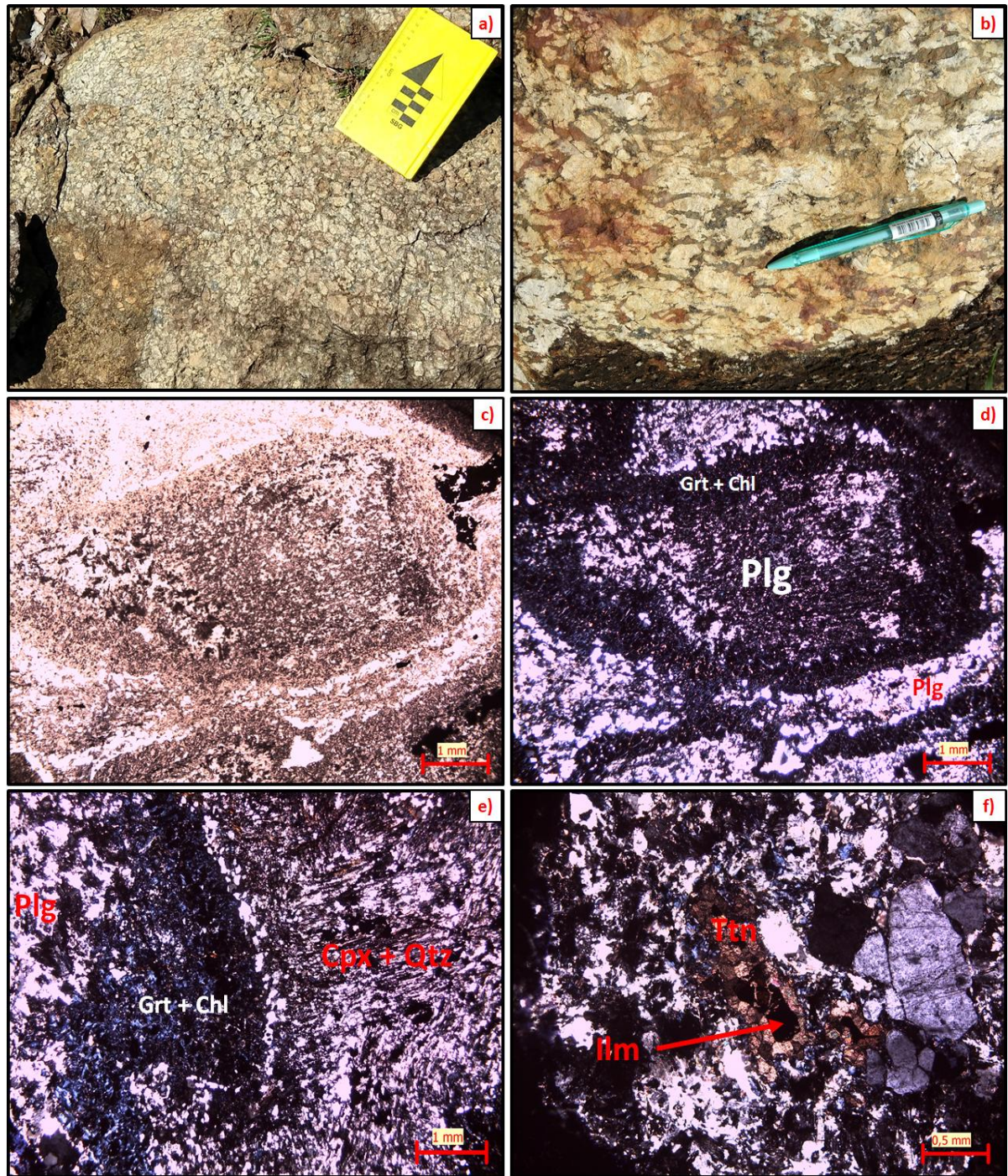


Figura 5.3 – Aspectos de campo e petrográficos do ACC com feições magmáticas preservadas: a) Afloramento GCC/18-02 com concentração de megacristais tabulares e centimétricos de plagioclásio de cor cinza clara; b) detalhe do anortosito, evidenciando a orientação preferencial na rocha; c) fotomicrografia de um megacristal lenticular de plagioclásio e a porção intercumulada em luz natural; d) a partir do uso da luz polarizada é possível definir melhor a geometria dos cristais devido a presença de corona de granada e clorita (em escuro) (GCC/18-02); e) fotomicrografia do contato do cristal de plagioclásio (a esquerda) com porção intercúmulus da rocha (direita) na amostra GCC/18-03; f) cristais de ilmenita no centro da imagem, contornados por corona de titanita metamórfica (GCC/18-03).

5.2 META-ANORTOSITOS

Os meta anortositos são representados pelas amostras GCC/18-05, GCC/18-06a e PPN-V-16, localizadas na porção sul e sudeste do ACC. São rochas faneríticas, grossas, inequigranulares, com predominância de megacristais centimétricos de plagioclásio. A rocha também apresenta texturas porfiroblástica e coronítica.

Os meta-anortositos são predominantemente compostos por cristais cumulados de plagioclásio do tipo bytownita (An_{78}) cujos interstícios são compostos por clinopiroxênio e quartzo, os minerais acessórios consistem em ilmenita, apatita e zircão. As feições texturais primárias foram modificadas pela deformação provenientes do cisalhamento ao longo da ZCPN, sendo pouco preservadas.

Na rocha, superpostos aos minerais primários, estão presentes cristais de hornblenda, biotita granada, clorita, epidoto e titanita. Hornblenda, biotita, titanita e grãos recristalizados de plagioclásio e quartzo, com formação atribuída ao metamorfismo incidente, são comuns devido as reações metamórficas e a alteração de cristais de clinopiroxênio e ilmenita.

O plagioclásio continua sendo o mineral mais abundante entre os tipos transformados, sendo encontrado na forma de porfiroclastos lenticulares ou segmentados e aglomerados recristalizados envolvidos pela foliação milonítica (Figura 5.4a) proveniente da deformação atuante. São cristais de dimensões centimétricas com tamanhos variando entre 0,5 a 2 cm, predominantemente xenoblásticos devido a intensidade da deformação, transformações metamórficas, recristalização e a alteração mineral. Localmente, as extremidades dos cristais de plagioclásio se encontram dobradas e contorcidas, apagando o maclamento presente nesta região cristalina. O maclamento predominante é do tipo albita, com variações de albita-carlsbad e albita-periclina.

O plagioclásio possui contatos retos entre os demais minerais presentes na rocha, no entanto, nos contatos entre os cristais de hornblenda e clinopiroxênio ocorre a formação de coronas de granada, quartzo e biotita (Figuras 5.4c e 5.4d), sendo provenientes das reações metamórficas entre o plagioclásio e os minerais máficos. O plagioclásio encontra-se intensamente alterado para epidoto e sericita, sendo produto de uma maior descalcificação do feldspato, como produto do metamorfismo. Com a ação hidrotermal, ocorre a perda de cálcio na porção interior dos cristais de plagioclásio também promove a cristalização de finos grãos quartzo e clorita.

Os cristais de hornblenda também são formados a partir metamorfismo atuante na rocha sendo produto da substituição do clinopiroxênio, encontram-se dispostos na forma de agregados minerais inseridos na porção intercumulática da rocha ou nas coronas de reação em torno dos cristais de plagioclásio (figuras 5.4c e 5.4d). Apresentam cristais com forte pleocroísmo tendo cores variando entre verde azulado a verde claro nos eixos Z e Y, respectivamente, com tamanhos próximos a 0,5 mm, com formas cristalinas hipidioblásticas. Alguns cristais apresentam extinção ondulante ou microfraturamento.

A granada ocorre como produto das reações entre o plagioclásio e cristais de clinopiroxênio e hornblenda, ocorrendo como agregados de múltiplos cristais coroníticos delimitando contato entre ambos os minerais (figuras 5.4c e 5.4d). Individualmente são cristais granulares, xenoblásticos com tamanhos menores que 0,2 mm, estando localmente alterados para clorita.

A biotita é encontrada na forma de agregados minerais inseridos na matriz *intercumulus* da rocha, frequentemente associados à ilmenita, e também ocorre em coronas monomineralicas ao redor do mineral opaco (Figura 5.4e). Destaca-se o pleocroísmo, havendo variação de cores entre marrom avermelhado a marrom claro correspondentes aos eixos, com tamanhos próximos a 0,5mm, possuindo hábito tabular e formas hipidioblásticas.

Os cristais primários de clinopiroxênio, estão intensamente alterados para hornblenda e mais restritamente para clorita, ambos metamórficos. São cristais de cor creme, raramente maiores que 0,5 mm.

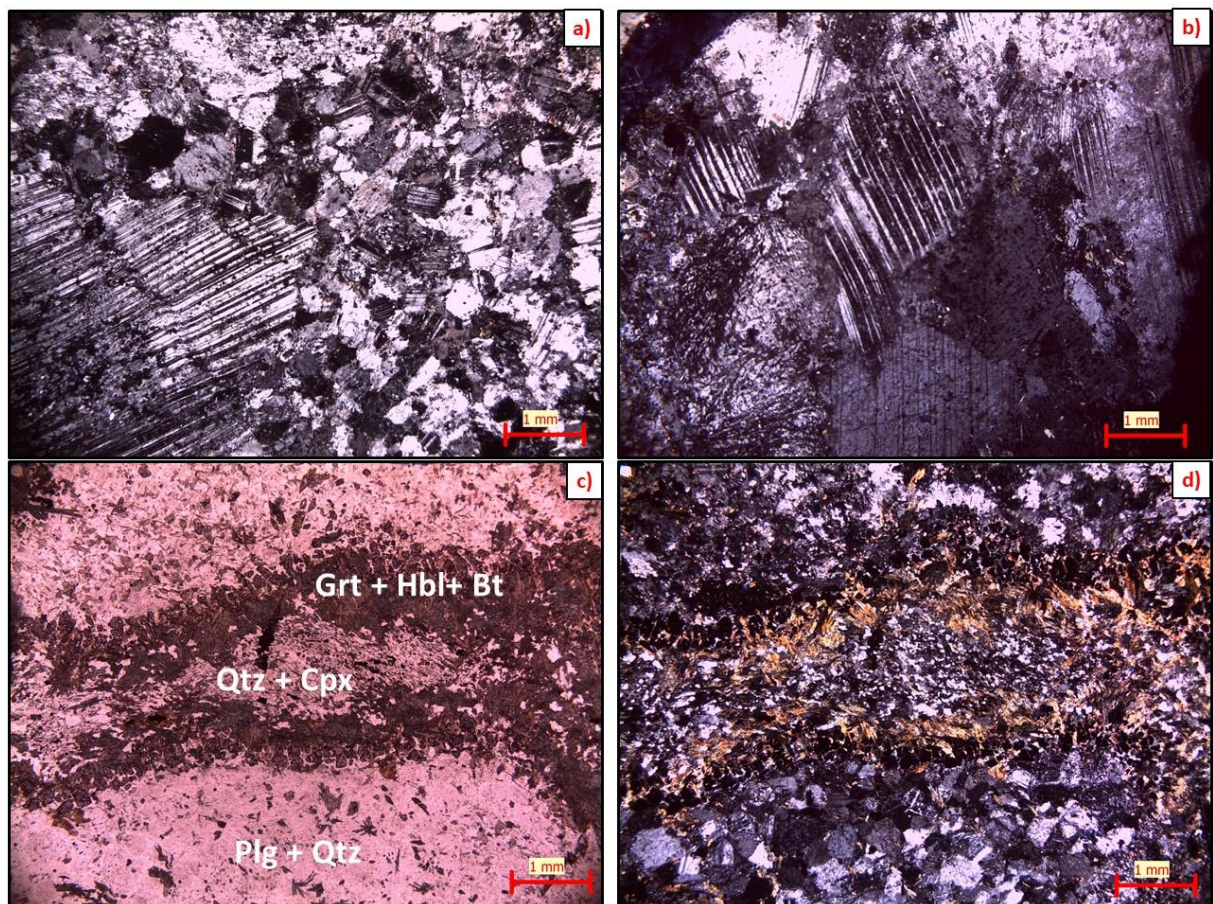
Os cristais de clorita são resultantes da alteração dos cristais de hornblenda clinopiroxênio e granada, sendo encontrados tanto na matriz *intercumulus* como nas coronas de reação presentes na rocha. São cristais xenoblásticos com tamanhos próximos a 0,3mm, de cor verde clara, fracamente pleocróicos.

O quartzo está presente nas porções intersticiais dos cristais de plagioclásio, nas zonas externas das coronas de reação (Figuras 5.4c e 5.4d) ou incluso nos cristais de plagioclásio (Figura 5.4b). Apresentam cristais xenoblásticos com tamanhos variando entre 0,3 a 2 mm, os maiores cristais encontram-se dispersos nos interstícios da rocha, especialmente nos domínios mais feldspáticos. O quartzo intersticial frequentemente encontra-se estirado, apresentando morfologia característica de quartzo fitado (*ribbon quartz*) que define uma foliação milonítica contornando os megacristais ou os aglomerados minerais formados a partir da recrystalização dos porfiroclastos de plagioclásio. É comum a presença de extinção ondulante e a formação de

subgrãos do mineral por meio da rotação de subgrãos ou pelo deslocamento das bordas entre os grãos de quartzo.

A titanita está diretamente associada à reação metamórfica da ilmenita, sendo encontrada na forma de coronas circundando-o (Figura 5.4f), cujos cristais são xenoblásticos com tamanhos próximos a 0,1 mm.

A análise petrográfica dos minerais opacos foi realizada nas amostras GCC/18-05, GCC/18-06a e PPN-V-16 em microscópio de luz refletida em lâminas polidas. Os minerais opacos estão presentes apenas na matriz *intercumulus* e são caracterizados por sua cor cinza marrom, ausência de pleocroísmo, refletância baixa, relevo alto e nítida anisotropia, sendo possível classificá-los como ilmenita.



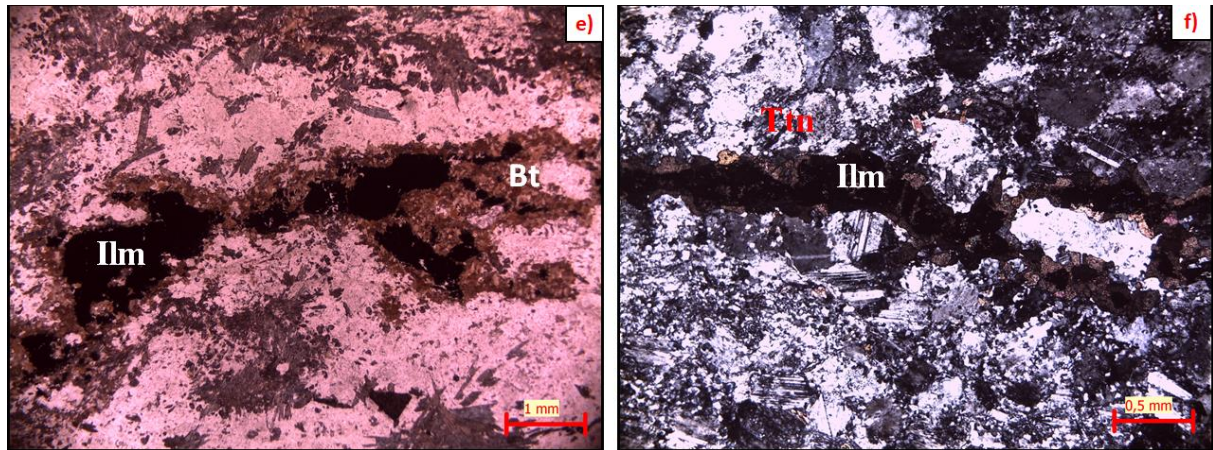


Figura 5.4 - Aspectos petrográficos dos meta-anortositos. a) Parte de um megacristal (a esquerda) e aglomerados de plagioclásio recrystalizado (a direita) pertencente a amostra PPN-V-16; b) encurvamento dos cristais de plagioclásio exibido por meio da curvatura nos maclamentos do mineral (GCC/18-06a); c) e d) coronas zonadas de hornblenda, granada, biotita e quartzo delimitando os contatos entre agregados recrystalizados de plagioclásio (acima e abaixo) e os resquícios da matriz *intercumulus* da rocha (ao centro) em luz natural e luz polarizada, respectivamente; e) coronas de biotita ao redor dos cristais opacos de ilmenita (GCC-18-05); f) corona de titanita metamórfica no entorno dos cristais de ilmenita (PPN-V-16).

5.2.1 Anortositos miloníticos

Os anortositos miloníticos estão descritos como uma especificidade presente no domínio petrográfico dos meta-anortositos, representados pela amostra GCC/18-6b, localizada na porção sudeste do ACC, mais especificamente na fazenda Senhor do Bonfim (Figura 5.1). O afloramento apresenta rochas, inequigranulares de granulação predominantemente média, localmente apresentando granulação fina. É composto por porfiroclastos centimétricos de plagioclásio envoltos por uma matriz milonítica composta por hornblenda, quartzo, clinopiroxênio, granada e minerais opacos.

As texturas exibidas neste tipo petrográfico ocorrem como produto da intensa deformação cisalhante atuante na rocha, resultando na formação de foliação milonítica (Figura 5.5a), também havendo formação de bandamentos composicionais e a obliteração completa das texturas ígneas primárias. Segundo a classificação de Trouw *et al.* (2009), a foliação é do tipo espaçada, anastomosada e milonítica com orientação preferencial de acordo com o eixo N35°E. Sob observação microscópica as rochas apresentam bandamento composicional caracterizado pela formação de dois domínios distintos (Figura 5.5b):

- A)** Bandas compostas essencialmente por plagioclásio, quartzo e minerais provenientes da alteração do plagioclásio provenientes do material *cumulus* pretérito;
- B)** Bandas compostas por hornblenda, clinopiroxênio, quartzo, biotita, granada, clorita e minerais opacos sendo derivados do domínio *intercumulus* pretérito à deformação (Figura 5.5c).

Este domínio petrográfico é bastante similar ao dos meta-anortositos, sendo diferenciado por meio da granulação média ou fina conforme a intensidade da cominuição mineral promovida pelo cisalhamento, ocorrência estritamente reliquiar de clinopiroxênio, ocorrência restrita de granada e clorita, bandamento e a total obliteração das estruturas primárias (Figura 5.5d).

A análise petrográfica dos minerais opacos foi realizada em lâminas polidas da amostra GCC/18-6b no microscópio de luz refletida. Foi possível identificar a presença de ilmenita e sulfetos.

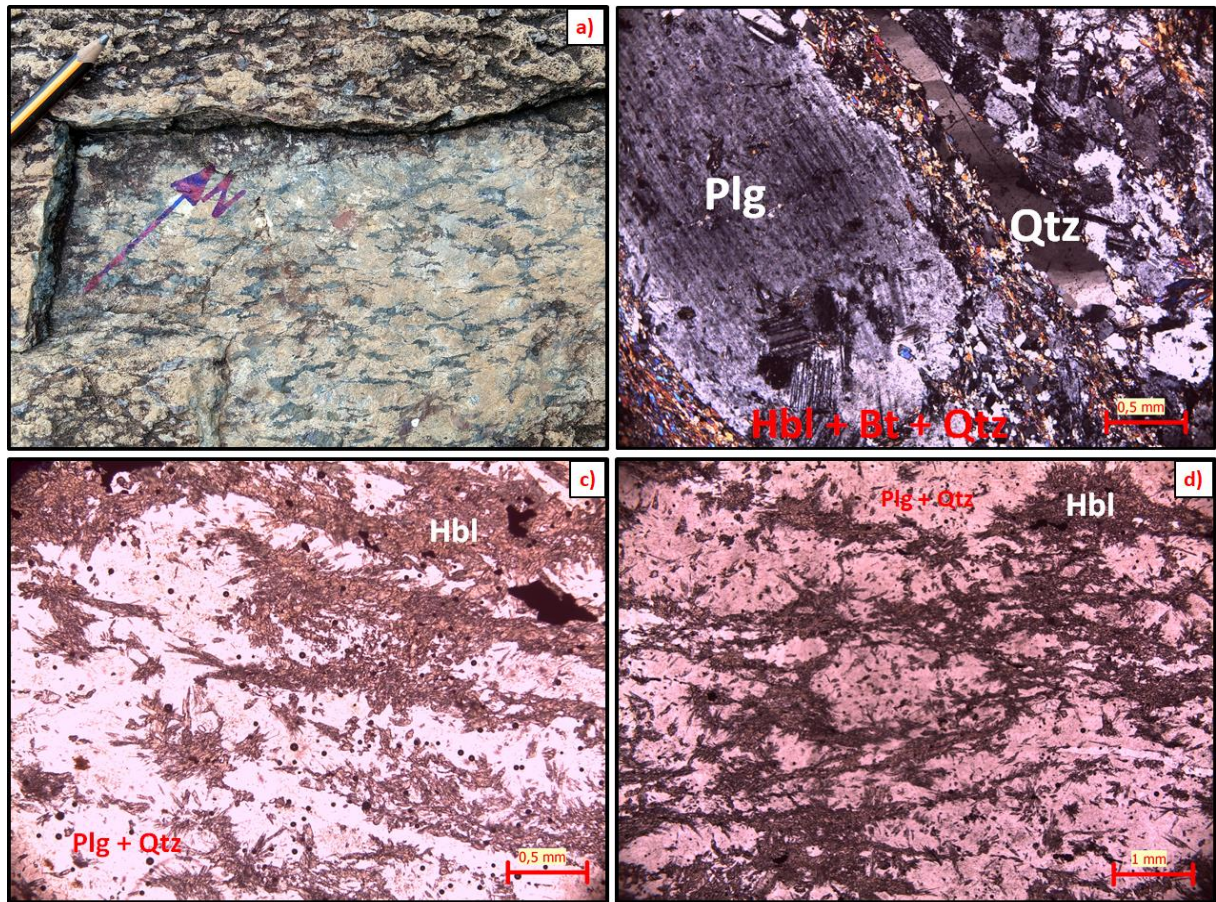


Figura 5.5 - Aspectos petrográficos dos anortositos miloníticos. a) Porfiroclastos de plagioclásio lentiformes imersos em matriz milonítica com orientação preferencial no sentido N35°E; b) fotomicrografia destacando os porfiroclastos de plagioclásio, com extremidades intensamente deformadas, notar a porção direita da imagem exibindo porfiroclastos completamente deformados e cominuídos, envoltos pela matriz milonítica composta por grãos recristalizados; c) cristais de hornblenda dispostos na matriz milonítica da rocha; d) Orientação entre os cristais de hornblenda presentes exibindo o bandamento tectônico e a ausência de texturas primárias ainda presentes no tipo petrográfico.

6 ANÁLISES MINERALÓGICAS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

As análises mineralógicas foram complementadas pelo método da microscopia eletrônica de varredura (MEV), afim de refinar a caracterização mineralógica e complementar as análises petrográficas dos anortositos estudados. Para a realização das análises o equipamento utilizado foi um MEV Zeiss modelo SIGMA-VP com EDS IXRF modelo Sedona-SD acoplado, pertencente ao Instituto Tecnológico Vale (ITV) do Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará.

Foram analisadas 6 lâminas polidas, metalizadas em carbono, para as amostras GCC/18-02, GCC/18-03, GCC/18-05, GCC/18-06a GCC/18-06b e PPN-V-16. Os resultados das composições analíticas são exibidos nas imagens 6.1 a 6.12, tabelas 6.1 a 6.17 e diagramas das figuras 6.11 e 6.12.

6.1 ANORTOSITOS COM FEIÇÕES MAGMATICAS PRESERVADAS

Para esse tipo petrográfico, as análises semiquantitativas em EDS foram realizadas nas amostras GCC/18-02 e GCC/18-03, afim de identificar a composição de alguns minerais e a sua variação proveniente de reações metamórficas incidentes no corpo.

6.1.1 Plagioclásio

As análises semiquantitativas em megacristais de plagioclásio foram realizadas na amostra GCC/18-03 e estão dispostas na Tabela 1. As análises revelam concentrações químicas de O variando entre 36 e 39%; Si com aproximadamente 22%; 19% de Al; valores entre 17 e 15% de Ca; 2 e 3% de Na e aproximadamente 1 e 2% de Fe. As análises semiquantitativas para as proporções entre Na e Ca medidas revelam composição variando entre An_{82} e An_{88} , correspondente ao tipo bytownita (Figura 6.1).

Tabela 1 - Composição química semiquantitativa (% em peso) obtida por análises de MEV/EDS de megacristais de plagioclásio do ACC.

Plagioclásio Elementos	GCC/18-02		
	Análise 1	Análise 2	Análise 3
O	36,06	39,75	36,39
Na	2,33	2,86	3,43
Si	22,28	21,90	22,19
Al	19,78	18,13	19,63
Ca	17,63	15,19	17,08
Fe	1,93	2,17	1,27
Total	100,00	100,00	100,00

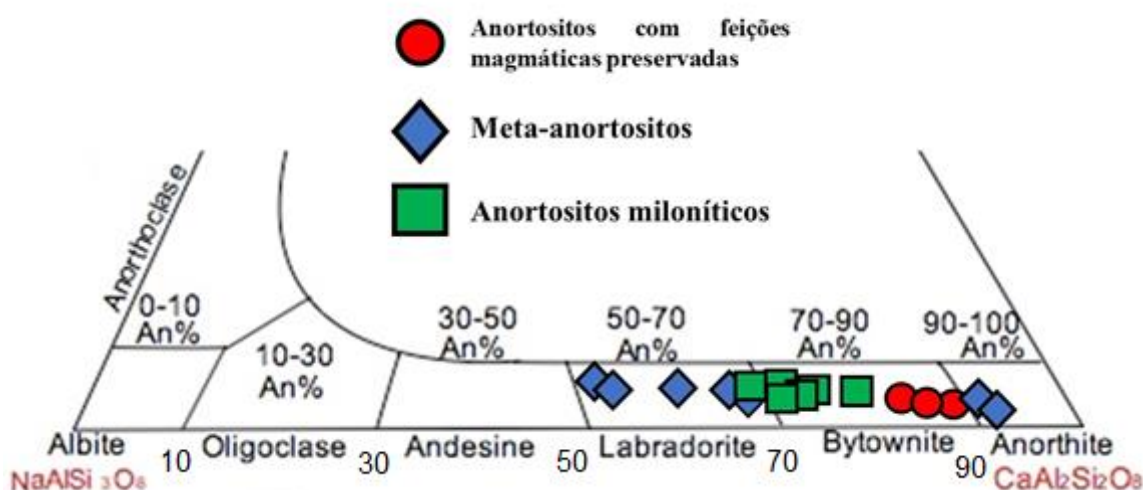


Figura 6.1 - Diagrama composicional de classificação do plagioclásio de adaptado de Greenwood (1998), com plotagem dos dados obtidos pelas análises deste trabalho.

6.1.2 Minerais opacos e titanita

As análises semiquantitativas foram realizadas nos minerais opacos pertencentes as amostras GCC/18-02 e GCC/18-03, os resultados se encontram na Tabela 2. As análises revelam a ocorrência de óxidos de ferro e titânio com presença subordinada de manganês, resultando na formação de três fases minerais distintas: a) ilmenita com concentração química de 26 a 31% de O; 34 a 36% de Ti; 32 a 36% de Fe e 0,5 a 2% de Mn; b) rutilo com aproximadamente 33% de O e 66 a 67% de Ti; c) titanita composta por 34 a 35% de O; 1 a 2% de Al; 16% de Si; 22% de Ca e Ti e 0,5% de Fe (Figura 6.2).

Tabela 2 - Composição química semiquantitativa (% em peso) obtida por análises de MEV/EDS para cristais de ilmenita, rutilo e titanita do ACC.

GCC/18-02	Ilmenita		Rutilo		Titanita	
Elementos	Análise 1	Análise 2	Análise 1	Análise 2	Análise 1	Análise 2
O	27,22	31,81	33,96	33,32	34,74	34,83
Al	-	-	-	-	2,37	1,78
Si	-	-	-	-	16,77	16,47
Ca	-	-	-	-	22,56	22,90
Ti	36,29	35,20	66,04	66,68	22,97	23,59
Mn	2,68	0,88	-	-	-	-
Fe	33,82	32,12	-	-	0,60	0,44
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

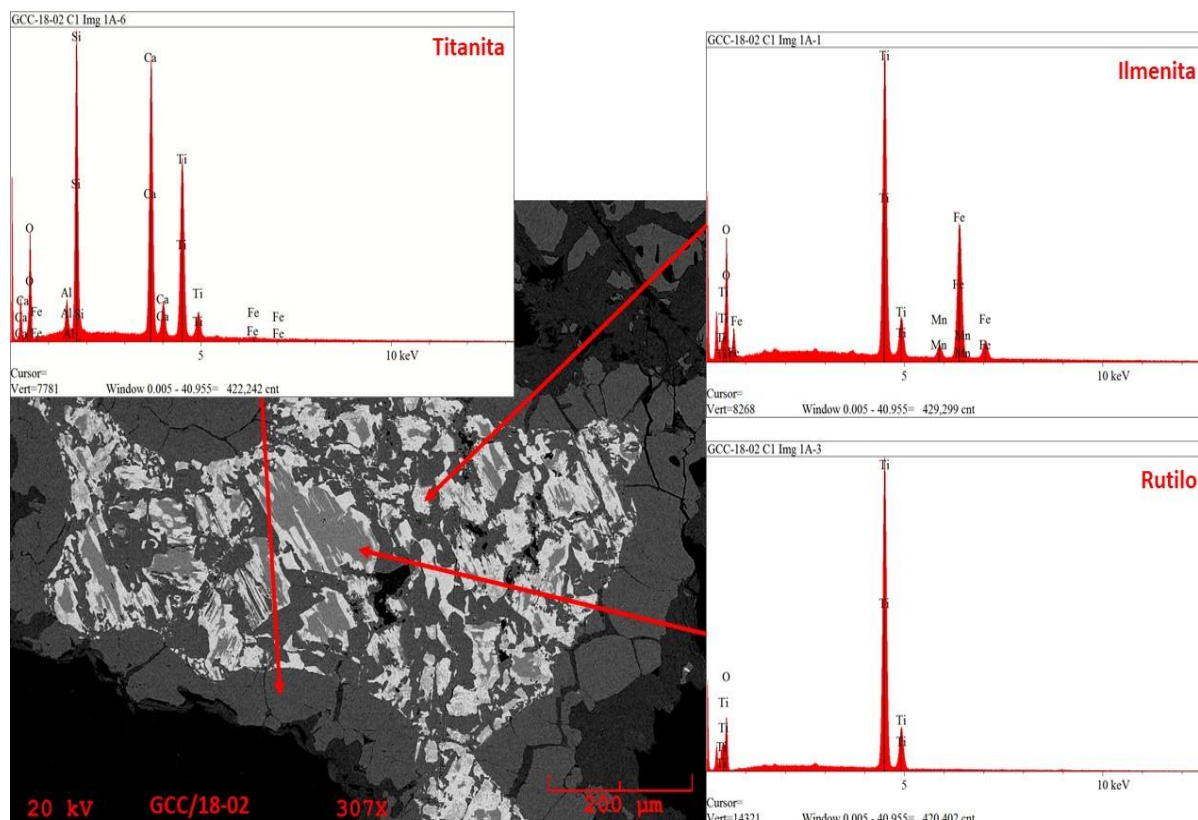


Figura 6.2 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-02, estando presentes três fases minerais distintas em cristais de ilmenita, rutilo e titanita.

6.1.3 Granada

Foram analisados cristais de granada das coronas margeado os contatos entre os megacristais de plagioclásio e clinopiroxênio (Figura 6.4). A Tabela 3 mostra os resultados das análises semiquantitativas realizadas. Para ambas as amostras as concentrações obtidas em porcentagem em peso são aproximadamente: 32 a 33% de O; 1,5 a 2% de Mg; 13% de Al; 20 a 21% de Si; 6 a 9% de Ca; 0,7 a 0,9% de Mn e 20 a 23% de Fe.

A partir da distribuição dos elementos químicos, especialmente o alto teor de Fe e Al presentes, e a plotagem no diagrama de Vd'ačn'ýv & Bačík (2015) exibido na Figura 6.3a, é possível deduzir o tipo de granada predominante na rocha como sendo da variedade almandina, com composição secundária voltada para andradita ou grossulária, devido a abundância subordinada dos íons de Ca no mineral provenientes da descalcificação dos plagioclásios.

Tabela 3 - Composição química semiquantitativa (% em peso) obtida por análises de MEV/EDS para cristais de granada no ACC.

Granada	GCC/18-02		GCC/18-03	
Elementos	Análise 1	Análise 2	Análise 1	Análise 2
O	33,42	33,86	32,75	32,91
Mg	1,69	1,79	1,66	2,01
Al	13,28	13,09	13,43	13,66
Si	20,56	20,42	20,99	21,09
Ca	7,11	5,77	8,60	9,20
Mn	0,90	0,98	0,81	0,73
Fe	23,04	24,08	21,76	20,41
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

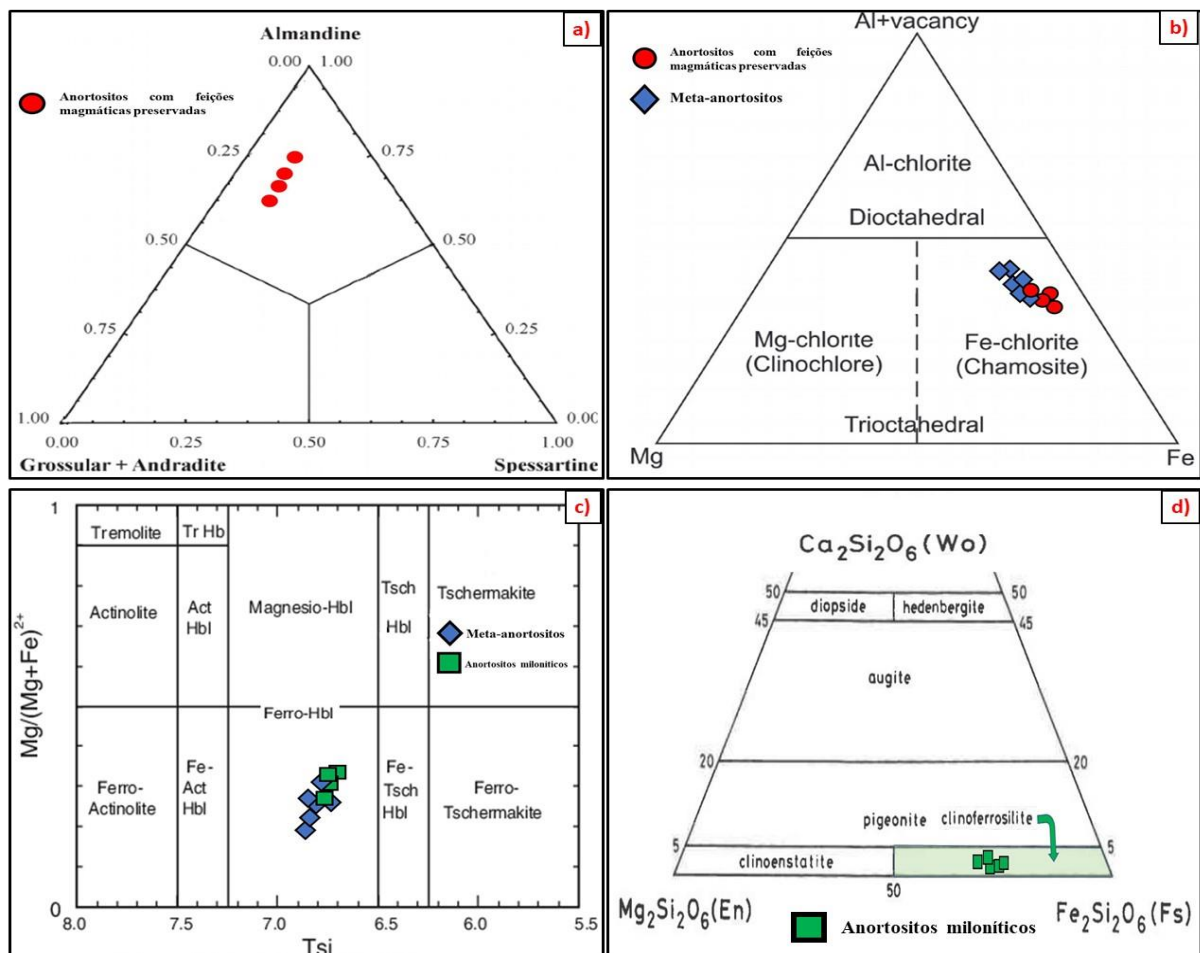


Figura 6.3 - Diagrama composicional para os cristais de a) granada; b) clorita; c) hornblenda e d) clinopiroxênio que foram analisados durante a realização do trabalho. Adaptado de Vd'ačný & Bačík (2015), Zane e Weiss (1998), Hawthorne (1981) e Morimoto (1989), respectivamente.

6.1.4 Clorita

Os resultados foram obtidos através de análises semiquantitativas realizadas em cristais de clorita, associadas à alteração da granada coronítica (Figura 6.4). As análises indicam concentrações em porcentagem em peso de 36 a 38% de O%; 7% de Mg; 14% de Al e Si; e aproximadamente 26% de Fe e para as amostras GCC/18-02 e GCC/18-03. A partir da distribuição dos elementos químicos, especialmente a abundância do elemento Fe em relação ao Mg.

Por meio do diagrama de Zane e Weiss (1998) exibido na Figura 6.3b, é possível inferir que esse mineral como sendo a chamosita, um aluminossilicato hidratado pertencente ao grupo das cloritas, membro da série chamosita (Fe) – clinocloro (Mg), com alto teor de Fe compatível com os dados da Tabela 4.

Tabela 4 - Composição química semiquantitativa (% em peso) obtida por análises de MEV/EDS para cristais de clorita do ACC.

Clorita Elementos	GCC/18-02		GCC/18-03	
	Análise 1	Análise 2	Análise 1	Análise 2
O	36,73	38,10	37,97	36,24
Mg	7,69	7,52	7,93	7,34
Al	14,19	14,22	13,64	14,48
Si	14,71	14,12	14,68	14,16
Fe	26,68	26,05	25,79	27,79
Total	100,0	100,00	100,00	100,00

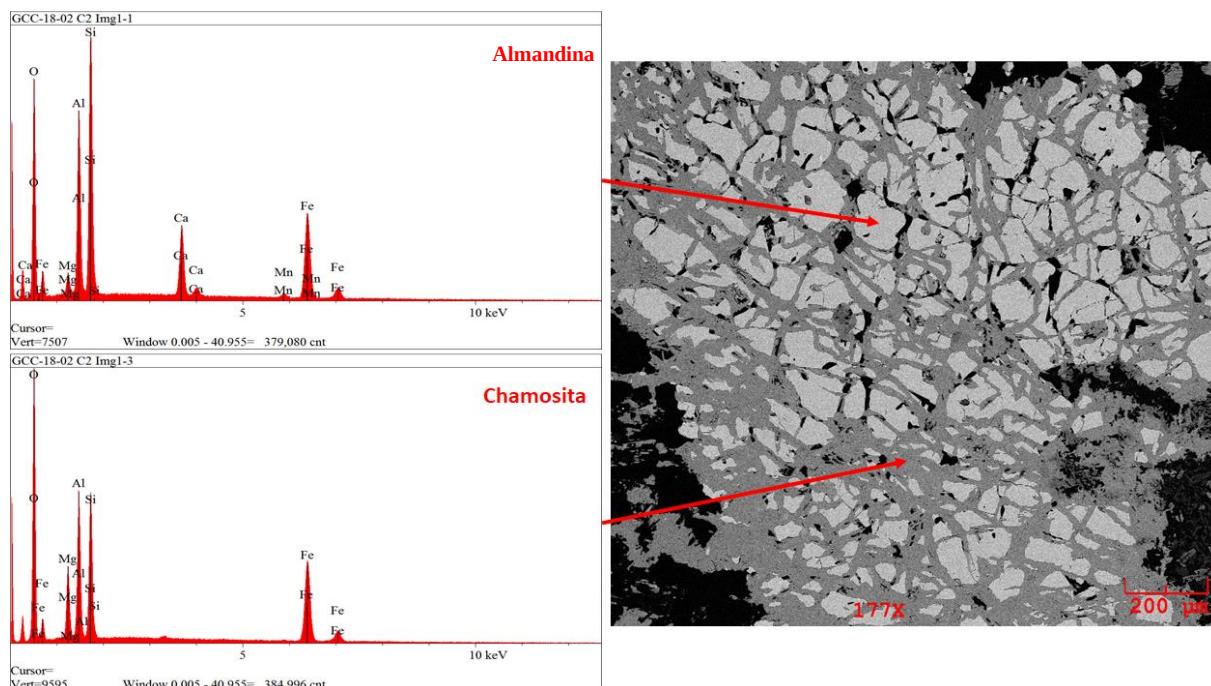


Figura 6.4 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-02, exibindo as variações composicionais nas coronas de granada (almandina) e clorita (chamosita) entre os megacristais de plagioclásio e a matriz intercumulática da rocha.

6.2 META-ANORTOSITOS

A partir de análises químicas semiquantitativas por meio de microscopia eletrônica de varredura com EDS acoplado foram estudadas as amostras GCC/18-05, GCC/18-06a e PPN-V-16 pertencentes ao domínio petrográfico dos meta-anortositos, o que permitiu determinar a composição dos cristais de plagioclásio e identificar com maior precisão a assembleia de minerais opacos presentes na rocha. Os resultados das análises obtidas para cada mineral são mostrados nas tabelas 6.5 a 6.9.

6.2.1 Plagioclásio

As análises semiquantitativas em porfiroclastos de plagioclásio presentes nas amostras PPN-V-16, GCC/18-05 e GCC/18-06a (Figura 6.5) apontam variações em suas concentrações por porcentagem de peso (Tabela 5). As análises nas amostras PPN-V-16 e GCC/18-05 revelam composições de An_{78} , An_{54} , respectivamente (Figura 6.1). Os cristais de plagioclásio na amostra GCC/18-06a apresentam maior variação composicional em relação aos componentes Na e Ca, devido as reações metamórficas entre o plagioclásio e os minerais máficos presentes na rocha, resultando na descalcificação do mineral. A composição dos cristais neste domínio varia entre An_{93} e An_{62} (figura 6.1). Também foi mapeada a variação composicional no interior de um

megacristal de plagioclásio, exibindo teores mais cálcicos conforme as análises se aproximam no centro do cristal, corroborando com os dados propostos por Ashwal (1982a).

Tabela 5 - Composição química semiquantitativa (% em peso) obtida por análises de MEV/EDS em porfiroclastos de plagioclásio do ACC.

Plagioclásio	PPN-V-16		GCC/18-05		GCC/18-06a		
Elementos	Análise 1	Análise 2	Análise 1	Análise 2	Análise 1	Análise 2	Análise 3
O	39,24	38,90	36,59	37,16	38,65	38,90	40,30
Na	4,08	4,55	4,65	6,21	0,89	1,10	4,49
Al	19,30	19,21	18,13	16,35	21,59	21,31	17,31
Si	27,81	28,21	32,71	35,05	24,36	24,64	30,51
Ca	9,57	9,13	7,94	5,24	14,52	14,06	7,39
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

6.2.2 Anfibólio

A análise semiquantitativa dos cristais anfibólio através de MEV/EDS indicam que os mesmos possuem concentrações de O variando entre 32 a 33%; aproximadamente 1% de Na; 3 a 4% de Mg; aproximadamente 9% de Al; Si variando entre 23 a 25%; menos de 1% de K; aproximadamente 9% e Ca e valores de Fe variando entre 17 a 19%. A presença de Fe, Mg e Al, assim como a distribuição geral dos elementos (Tabela 6), permite classificar o anfibólio como membros da série ferro-hornblenda e magnésio-hornblenda de acordo com o diagrama de Hawthorne (1981) exibido na Figura 6.3c.

Tabela 6 - Valores de concentrações de elementos químicos (% em peso) obtidos por MEV/EDS para cristais de anfibólio do ACC.

Anfibólio	PPN-V-16		GCC/18-05		GCC/18-06a	
Elementos	Análise 1	Análise 2	Análise 1	Análise 2	Análise 1	Análise 2
O	33,72	33,52	32,05	32,16	33,01	33,83
Na	0,65	0,93	0,77	0,89	0,96	1,10
Mg	4,58	3,45	3,84	3,71	4,78	4,32
Al	8,05	8,88	9,42	9,87	8,71	9,42
Si	25,10	23,67	24,56	24,47	25,21	24,35
K	0,58	0,76	0,88	0,84	0,35	0,42
Ca	9,60	9,36	9,95	9,84	9,37	9,23
Fe	17,73	19,44	18,54	18,23	17,60	17,34
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

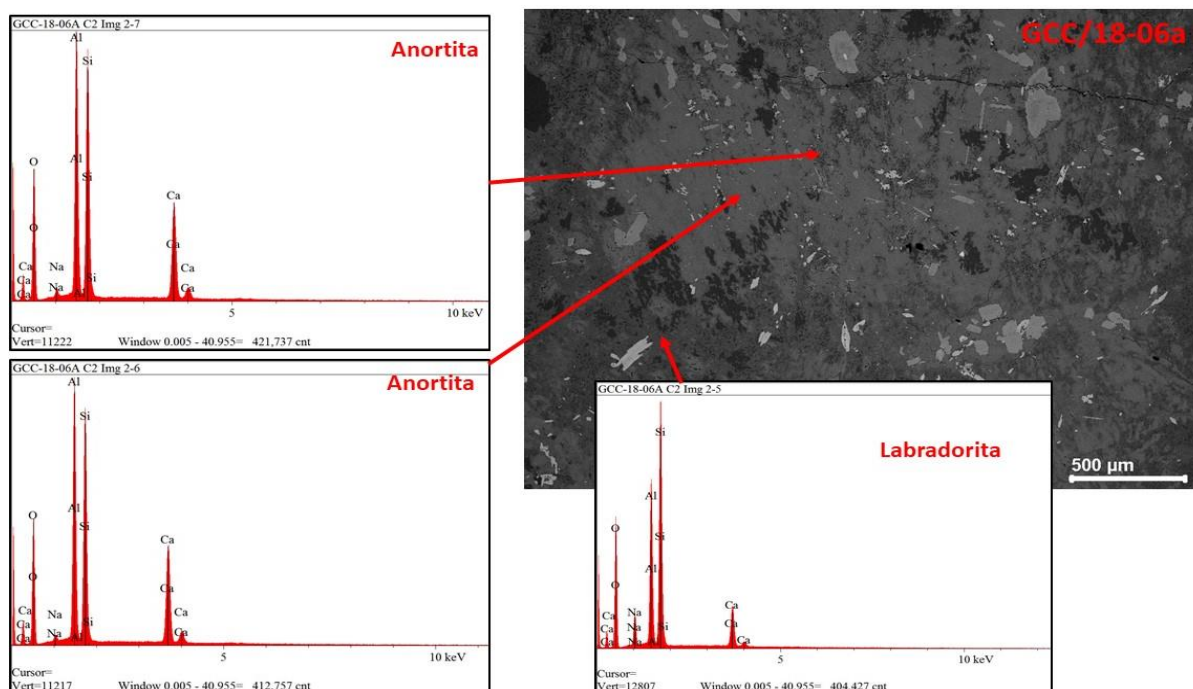


Figura 6.5 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-06a, exibindo a diminuição do Ca presente nos megacristais de plagioclásio conforme os pontos de análise se aproximam das bordas externas do cristal.

6.2.3 Clorita

As análises semiquantitativas realizadas nos cristais de clorita, ilustrados na Figura 6.6, revelam que o mineral possui concentrações de O variando entre 32 a 36%; aproximadamente 9% de Mg; 15% de Al; 15 a 17% de Si e 24 a 27% de Fe, exibidos na Tabela 7. Utilizado dos dados coletados na petrografia, e da distribuição dos elementos químicos presentes no mineral, especialmente a abundância do elemento Fe em relação ao Mg em proporção de 3:1 e utilizando o diagrama de Zane e Weiss (1998) exibido na Figura 6.3b, é possível inferir que o mineral trata-se de uma chamosita, um aluminossilicato hidratado pertencente ao grupo da clorita membro da série chamosita (Fe) – clinocloro (Mg), com alto teor de Fe.

Tabela 7 - Valores de concentrações de elementos químicos (% em peso) obtidos por MEV/EDS para cristais de clorita do ACC.

Clorita	PPN-V-16		GCC/18-05		GCC/18-06a	
Elementos	Análise 1	Análise 2	Análise 1	Análise 2	Análise 1	Análise 2
O	36,59	36,63	35,38	32,02	35,61	35,94
Mg	8,77	8,9	8,77	8,88	9,44	9,46
Al	15,09	14,82	15,11	14,55	14,83	14,84
Si	14,93	14,89	15,35	17,17	15,37	15,44
Fe	24,62	24,77	25,37	27,38	24,74	24,31
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

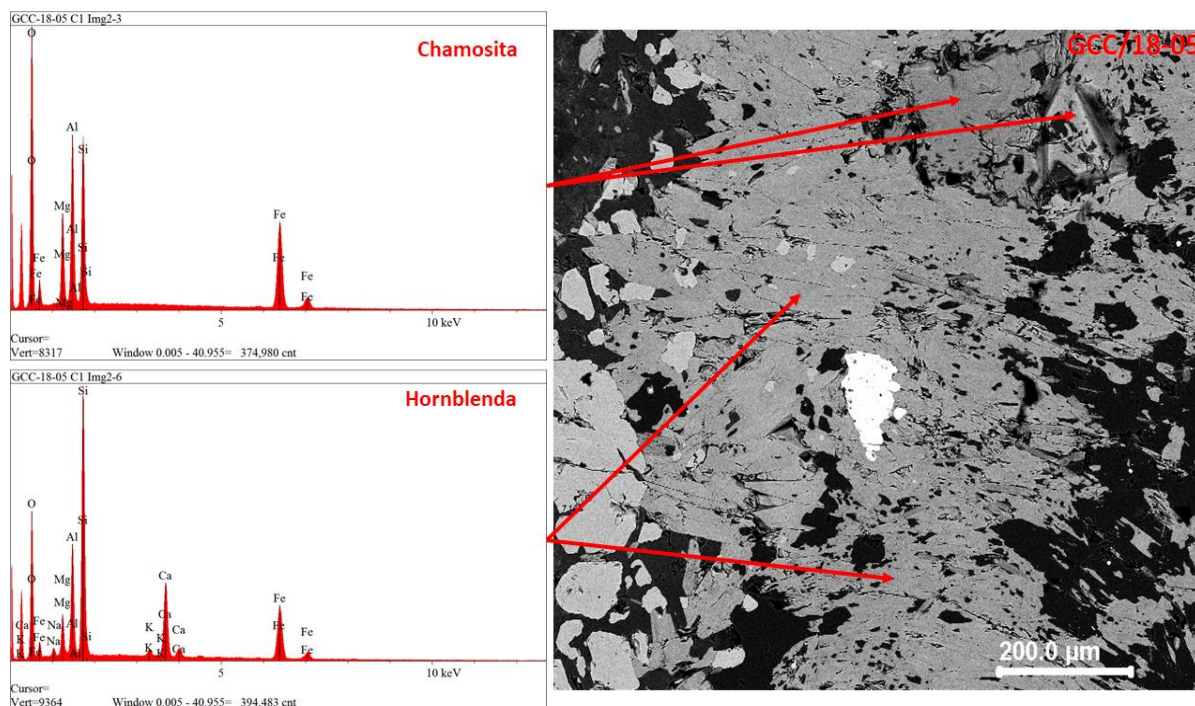


Figura 6.6 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-05, exibindo a alteração dos cristais de hornblenda para clorita.

6.2.4 Biotita

Os resultados obtidos através de análises semiquantitativas em cristais de biotita presentes nas amostras PPN-V-16, GCC/18-05 e GCC/18-06a (Tabela 8), revelam que o mineral apresenta concentrações de O variando entre 30 a 34%; Mg entre 6 e 7%; Al com aproximadamente 12%; Si com valores entre 19 e 21%; K variando entre 7 a 10%; aproximadamente 1% de Ti e Fe variando entre 15 a 20%, em porcentagem de peso. As análises semiquantitativas associadas as descrições petrográficas realizadas nas etapas anteriores confirmam que a mica presente na rocha se trata de biotita.

Tabela 8 - Valores de concentrações de elementos químicos (% em peso) obtidos por MEV/EDS para cristais de biotita no ACC.

Biotita	PPN-V-16	GCC/18-05		GCC/18-06a	
Elementos	Análise 1	Análise 1	Análise 2	Análise 1	Análise 2
O	34,95	31,98	36,04	30,70	31,24
Mg	7,25	6,36	6,21	5,80	5,98
Al	12,10	12,03	12,26	11,17	11,28
Si	20,39	21,02	19,46	19,41	19,62
K	9,15	8,38	7,32	9,99	9,97
Ti	1,03	1,14	0,54	2,01	1,87
Fe	15,13	19,08	18,18	20,92	20,05
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

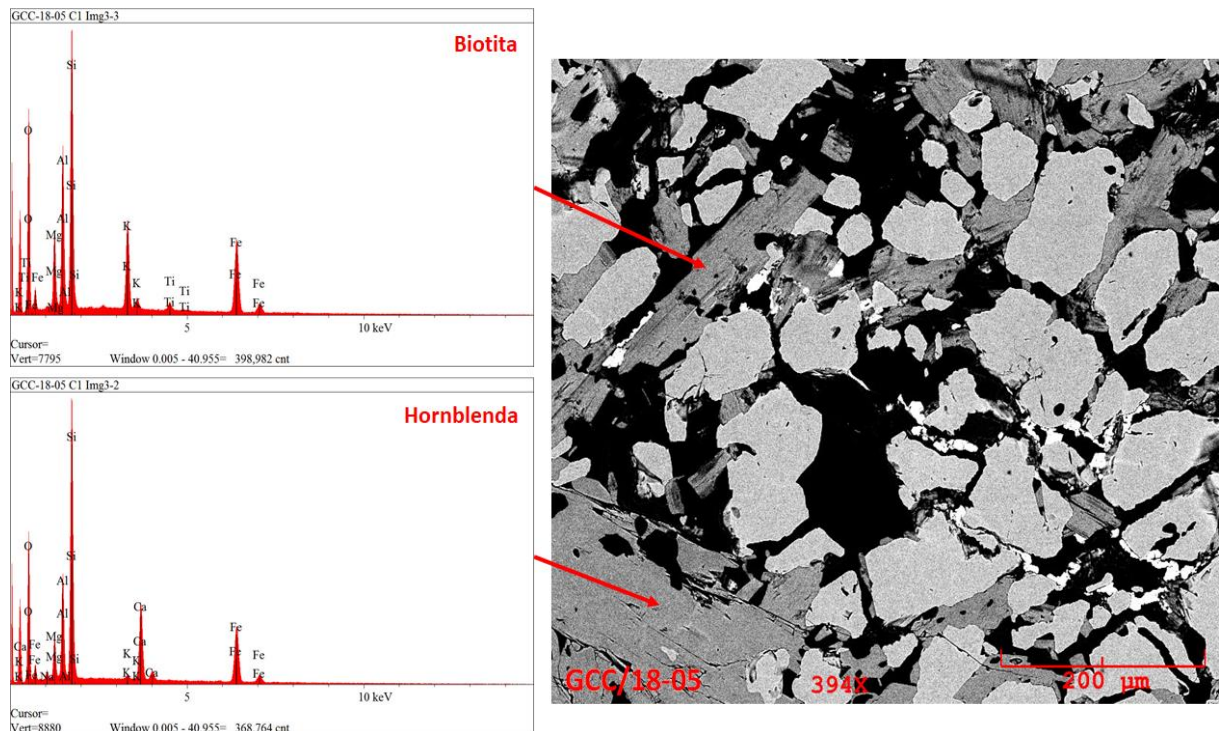


Figura 6.7 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-05, mostrando a interação entre os cristais de hornblenda e biotita na rocha.

6.2.5 Titanita e minerais opacos

As análises semiquantitativas foram realizadas em minerais opacos pertencentes as amostras PPN-V-16, GCC/18-05 e GCC/18-06a e ilustradas nas tabelas 9 a 11 e na Figura 6.8. As análises revelam a ocorrência de óxidos de ferro e titânio com presença de manganês, resultando na formação de duas fases minerais distintas compostas por ilmenita e titanita, não havendo ocorrências de rutilo como no domínio de anortositos com feições magmáticas preservadas. Os cristais de ilmenita apresentam concentrações em porcentagem de peso entre 9 a 26% de O; 34 a 42% de Ti; aproximadamente 2,5% de Mn e 37 a 45% de Fe. A titanita é composta por 34 a 35% de O; 1 a 2% de Al; 16% de Si; 22 a 23% de Ca; 23% de Ti e 0,5% de Fe.

Tabela 9 - Valores de concentrações de elementos químicos (% em peso) obtidos por MEV/EDS para cristais de ilmenita do ACC.

Ilmenita	PPN-V-16		GCC/18-06a	
Elementos	Análise 1	Análise 2	Análise 1	Análise 2
O	25,84	26,10	19,70	19,33
Ti	34,81	34,66	37,59	37,39
Mn	2,05	2,15	2,47	2,98
Fe	37,30	37,10	40,24	40,32
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 10 - Valores de concentrações de elementos químicos (% em peso) obtidos por MEV/EDS para cristais de titanita do ACC.

Titanita	PPN-V-16		GCC/18-06^a
Elementos	Análise 1	Análise 2	Análise 1
O	34,87	34,18	35,93
Al	1,63	2,10	0,80
Si	16,40	16,92	16,36
Ca	23,01	22,66	21,97
Ti	23,76	23,74	24,40
Fe	0,34	0,40	0,54
Total	100,00	100,00	100,00

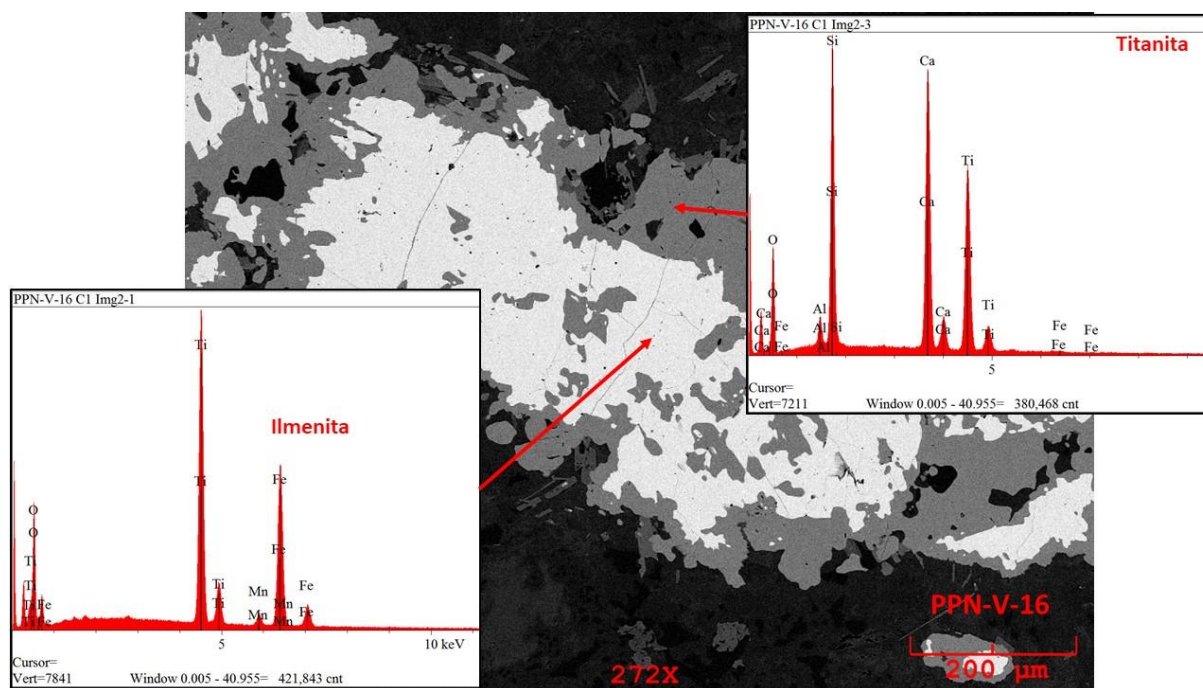


Figura 6.8 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra PPN-V-16, exibindo coronas metamórficas de titanita em torno de cristais de ilmenita

Também ocorrendo como minerais opacos foram analisadas as ocorrências de sulfeto na amostra PPN-V-16. Nesta estão presentes 53% de S; 0,54% de Ti e 45% de Fe, localmente o cristal de sulfeto encontra-se oxidado (Figura 6.9) apresentando 22% de O; 36% de S; 0,2% de Ti e 41% de Fe, assim caracterizando ambos como pirita. Os dados coletados das análises dos sulfetos estão exibidos na Tabela 11.

Tabela 11 - Valores de concentrações de elementos químicos (% em peso) obtidos por MEV/EDS para sulfetos no ACC.

Sulfetos	PPN-V-16	
Elementos	Análise 1	Análise 2
O	-	22,05
S	53,90	36,64
Ti	0,54	0,20
Fe	45,57	41,10
Total	100,00	100,00

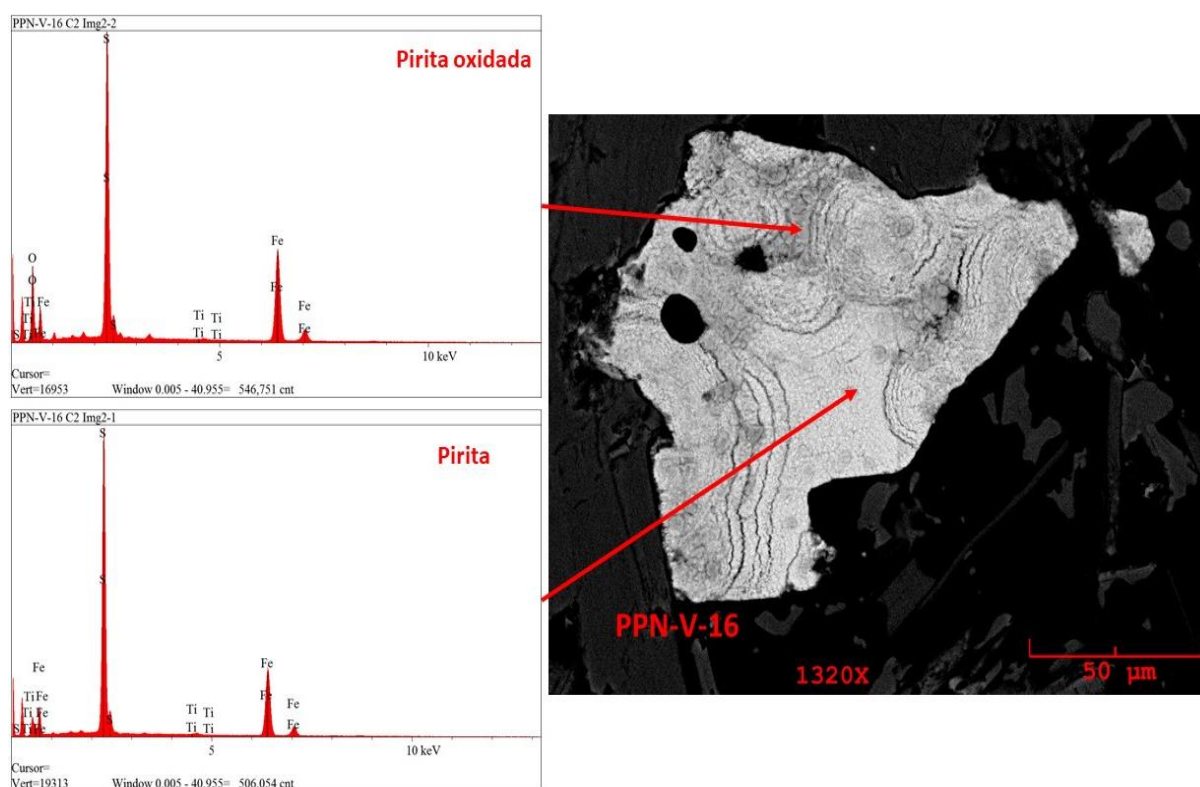


Figura 6.9 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra PPN-V-16, variações internas proveniente da oxidação de cristais de pirita.

6.3 ANORTOSITOS MILONÍTICOS

As análises em MEV/EDS das porções mais miloníticas do domínio petrográfico dos meta-anortositos foram efetuadas na amostra GCC/18-06b, afim de identificar com maior

precisão a composição de alguns minerais, definir a assembleia de minerais opacos e caracterizar o tipo de plagioclásio predominante na rocha. Os resultados das análises obtidas para cada mineral são mostrados nas tabelas 12 a 17 acompanhados de descrições.

6.3.1 Plagioclásio

As análises semiquantitativas em porfiroclastos de plagioclásio estão dispostas na Tabela 12. As análises revelam concentrações de O entre 36 a 37%; 3 a 4% de Na; aproximadamente 19% de Si; 29 a 31% de Al e valores entre 9 a 10% de Ca. A partir da relação entre Ca e Na a composição dos porfiroclastos de plagioclásio variam entre An68 a An76 labradorita - bytownita (figura 6.1).

Tabela 12 - Composição química semiquantitativa obtida por análises de MEV/EDS em porfiroclastos de plagioclásio no ACC.

Plagioclásio	GCC/18-06b					
Elementos	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Análise 4	Análise 5	Análise 6
O	36,51	36,80	36,83	37,78	37,24	37,86
Na	4,26	3,27	3,35	3,44	3,50	3,73
Si	18,66	19,64	19,56	18,99	19,20	18,83
Al	31,39	29,50	29,85	30,06	30,04	29,96
Ca	9,18	10,79	10,40	9,73	10,02	9,62
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

6.3.2 Piroxênio

As análises semiquantitativas em cristais de piroxênio presentes na amostra (Figura 6.10) revelam que o mineral é composto por concentrações de O próximas a 34%; 9,5% de Mg; aproximadamente 1% de Al; 30,6% de Si; aproximadamente 0,65% de Ca e 24% de Fe (Tabela 13).

Utilizando-se dos dados coletados referentes a distribuição dos elementos químicos presentes, especialmente levando em consideração a presença de teores elevados de Fe e Mg no mineral, o empobrecimento em Al e Ca e a plotagem no diagrama de Morimoto (1989) exibido na Figura 6.3d, é possível determinar que o piroxênio presente nos anortositos milonitizados sejam membros da série clinoenstatita – clinoferrosilita, com composição voltada para o extremo ferroso da série.

Tabela 13 - Composição química semiquantitativa (% em peso) obtida por análises de MEV/EDS cristais de clinopiroxênio no ACC.

Piroxênio		GCC/18-06b			
Elementos	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Análise 4	Análise 5
O	33,80	34,07	34,11	33,78	33,64
Mg	9,78	9,46	9,18	9,64	9,43
Al	0,92	0,73	1,05	0,72	0,81
Si	30,79	30,70	30,34	31,09	30,73
Ca	0,78	0,66	0,68	0,64	0,63
Fe	23,95	24,37	24,64	24,13	24,77
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

6.3.3 Anfibólio

A análise semiquantitativa em cristais anfibólio pertencentes ao domínio dos anortositos milonitizados (Figura 6.10) indica que os mesmos são compostos por concentrações de O variando entre 31 a 34%; aproximadamente 1% de Na; 5 a 6% de Mg; Al variando entre 8 e 9%; 25 a 27% de Si; aproximadamente 9% e Ca e valores de Fe próximos a 16%. A presença de Fe, Mg e Al, assim como a distribuição geral dos elementos (Tabela 14), permite plotar os cristais de anfibólio presentes na rocha como membros da série ferro-hornblenda e magnésio-hornblenda, especificamente no campo da ferro-hornblenda, de acordo com o diagrama de Hawthorne (1981) exibido na Figura 6.3c.

Tabela 14 - Composição química semiquantitativa (% em peso) obtida por análises de MEV/EDS cristais de anfibólio no ACC.

Anfibólio		GCC/18-06b		
Elementos	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Análise 4
O	32,91	31,78	34,54	34,32
Na	1,01	1,27	-	-
Mg	5,24	6,52	5,09	5,57
Al	9,95	8,12	9,14	9,02
Si	25,55	27,32	25,30	25,66
Ca	9,62	8,87	9,6	9,31
Fe	15,68	16,10	16,24	16,09
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

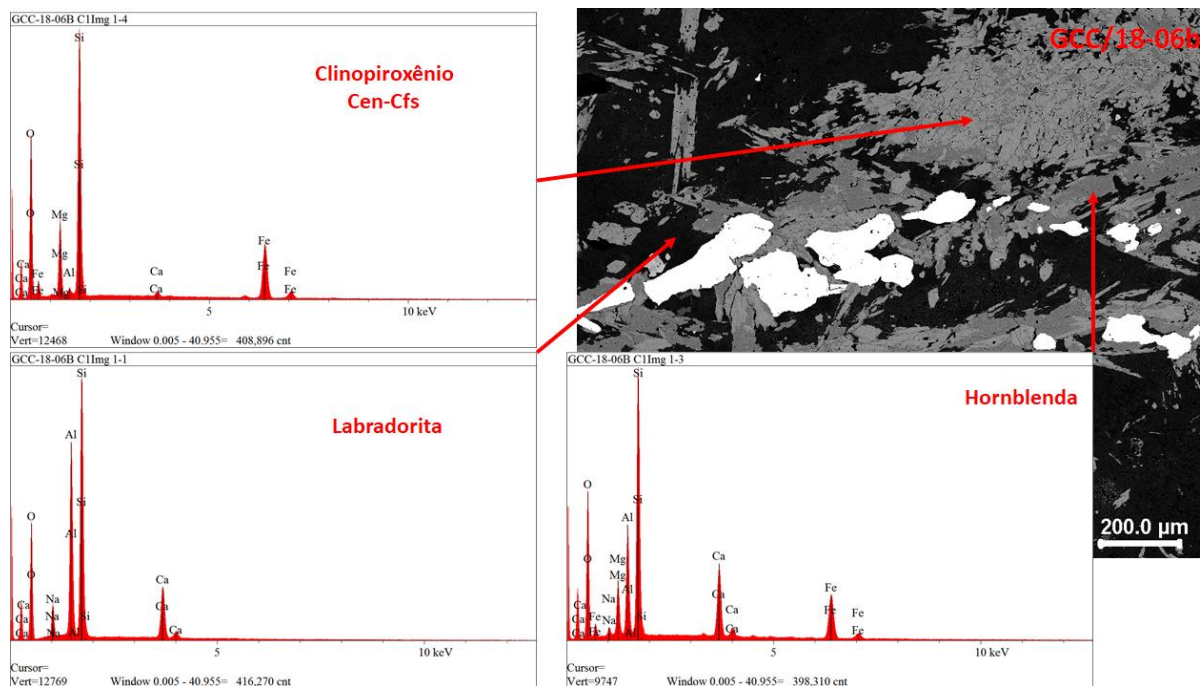


Figura 6.10 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-06b, mostrando cristais de clinopiroxênio, plagioclásio (labradorita) e hornblenda.

6.3.4 Biotita

O resultado obtido por meio da análise semiquantitativa de um cristal de mica presentes na amostra GCC/18-06b é exibido na Tabela 15. A análise química associada a descrições petrográficas realizadas nas etapas anteriores confirmam que a biotita é a fase micácea presente nesta unidade.

Tabela 15- Composição química semiquantitativa (% em peso) obtida por análises de MEV/EDS de um cristal de biotita no ACC.

Biotita	GCC/18-06b
Elementos	Análise 1
O	33,50
Mg	8,15
Al	12,58
Si	20,61
K	5,64
Ti	0,99
Fe	18,4
Total	100,00

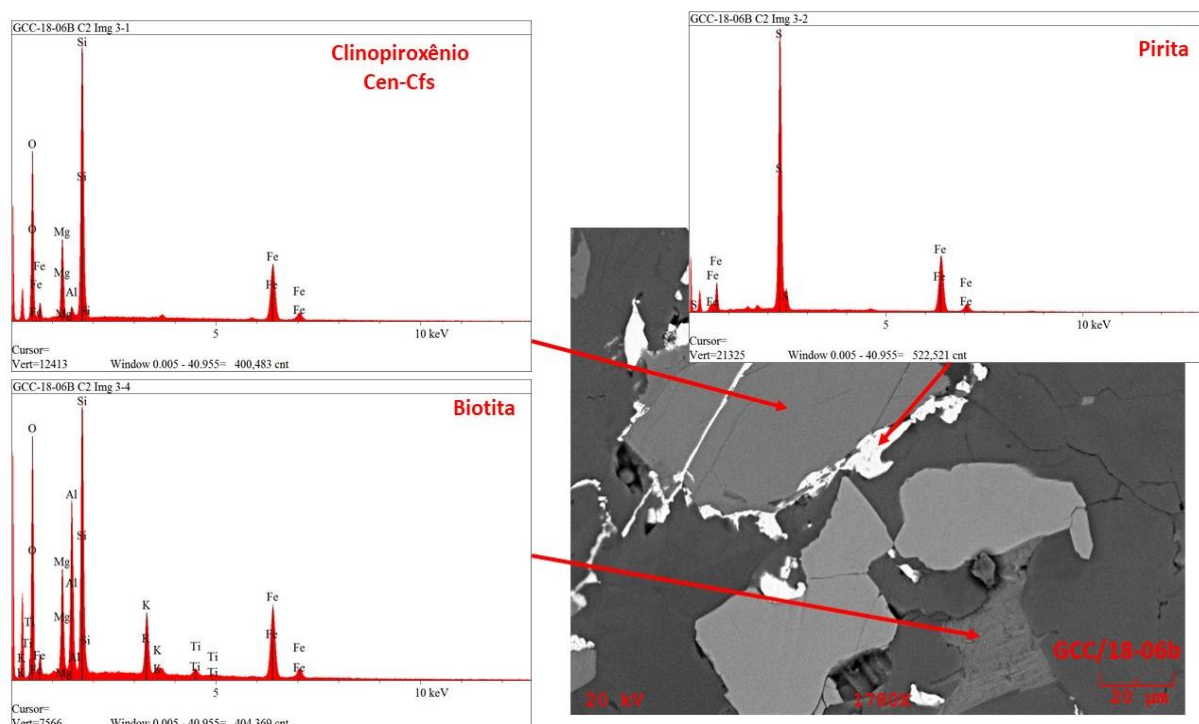


Figura 6.11 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-06b, mostrando cristais de clinopiroxênio, biotita e pirita.

6.3.5 Minerais opacos

As análises semiquantitativas foram realizadas nos minerais opacos pertencentes aos anortositos miloníticos ACC são exibidas nas tabelas 16 e 17 e figuras 6.11 e 6.12.

As análises em óxidos de ferro e titânio com presença de manganês revelam composição de 23% de O; 35% de Ti; aproximadamente 1% de Mn e 40% de Fe, indicando que o mineral opaco analisado se trata de uma ilmenita.

Tabela 16 - Valores de concentrações de elementos químicos (% em peso) obtidos por MEV/EDS para cristais de ilmenita no ACC.

Ilmenita	GCC/18-06b		
Elementos	Análise 1	Análise 2	Análise 3
O	23,33	23,18	22,70
Ti	35,55	35,66	35,83
Mn	0,98	1,10	1,52
Fe	40,12	39,99	39,85
Total	100,00	100,00	100,00

As análises realizadas em minerais contendo enxofre indicam presença de duas fases distintas, a primeira é composta apenas por Fe e S caracterizando como pirita. O segundo, é um sulfato com O, Si, e Ba, assim podendo afirmar que se trata de um cristal de barita.

Tabela 17 - Valores de concentrações de elementos químicos (% em peso) obtidos por MEV/EDS para cristais de sulfetos, divididos entre pirita (análises 1 e 2) e barita (análise 3), ambos presentes no ACC.

Sulfetos		GCC/18-06b		
Elementos	Análise 1	Análise 2	Análise 3	
O	-	-	7,61	
Si	-	-	1,82	
S	56,37	56,40	15,82	
Fe	43,63	43,60	-	
Ba	-	-	74,75	
Total	100,00	100,00	100,00	

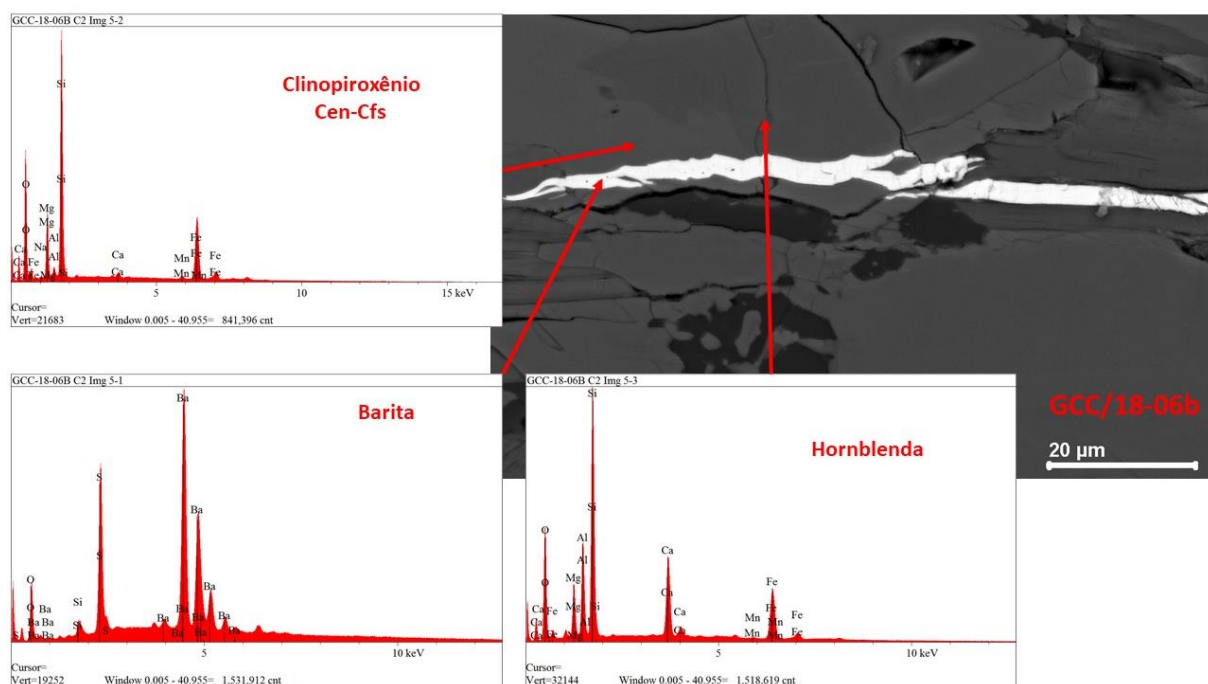


Figura 6.12 - Imagem de elétrons retroespalhados e análises semiquantitativas em MEV/EDS da amostra GCC/18-06b, mostrando cristais de clinopiroxênio, hornblenda e barita.

7 ANÁLISE MICROESTRUTURAL

7.1 INTRODUÇÃO

Sob condições de alta temperatura com pouco ou nenhum esforço incidente na rocha, o principal processo deformacional do ACC ocorre devido a plasticidade ou maleabilidade dos cristais quando presentes em condições de regime dúctil. Nestas condições a deformação ocorre internamente nos cristais, não sendo necessários núcleos deformacionais em defeitos cristalinos e neste caso, a deformação é do tipo intracristalina. Este tipo de deformação age diretamente sob o retículo cristalino do mineral, sendo observada apenas por meio da microscopia eletrônica, com ampliação entre 10.000 a 100.000 vezes. Utilizando a microscopia ótica, são observados apenas os efeitos da deformação intracristalina, exibidos como microestruturas, que visualmente ocorrem na forma de: cristais com extinção ondulante, geminação mecânica, geminação de deformação, subgrãos, migração nos limites de grãos, rotação de subgrãos, *bulging*, dentre outros (Spry 1969, Passchier & Trouw 1996, Fossen, 2010).

7.2 MICROESTRUTURAS

Em todos os grupos petrográficos do ACC foram observadas microestruturas relacionadas a deformação por meio do cisalhamento em um sistema transcorrente, associado ao Lineamento Transbrasiliano, que na região é representado pela ZCPN (Figura 5.2) conforme descrito por Gorayeb (1996). Esta tectônica transcorrente afetou grande parte do ACC, transformando-o em milonitos, e não afetando parte das feições magmáticas primárias.

7.2.1 Estruturas Primárias

Os anortositos estudados são rochas de granulação muito grossa que apresentam duas características texturais primárias de natureza plutônica, inerentes dos próprios processos de formação de corpos anortosíticos. As estruturas primárias presentes no ACC podem ser vistas na forma de cumulos de plagioclásio e intercumulus de clinopiroxênio e quartzo (Figuras 5.3c e 5.3d). As figuras 5.3a e 5.3b mostram a orientação preferencial entre os megacristais de plagioclásio, caracterizada como uma textura primária proveniente do fluxo magmático presente durante a formação da rocha.

7.2.2 Estruturas Tectônicas

A) Extinção ondulante e geminação mecânica

A extinção ondulante está bem visível nos cristais de plagioclásio e quartzo. As figuras 7.2a e 7.2b mostram cristais de quartzo e plagioclásio com extinção ondulante presentes na matriz milonítica da amostra GCC/18-06b.

A geminação de deformação (*mechanical twinning*) é definida por Passchier & Trouw (1996) como a resposta do cristal (ou grão) perante a deformação mecânica incidente, ocorrendo apenas o deslocamento de uma parte restrita do grão, evitando a sua ruptura. No caso da área de estudo essa microestrutura é comum nos porfiroclastos de plagioclásio em que as lamelas de geminação polissintética dos cristais apresentam-se irregulares com terminações em cunha, estando localmente obliteradas pela deformação (Figuras 5.4^a, 5.4b, 5.5a, 7.2c, 7.2d).

B) Recuperação cristalina e Subgrãos

As feições microestruturais resultantes da recuperação cristalina ou recrystalização ocorrem sob condições de deformação em estado dúctil. No ACC a recuperação cristalina é evidenciada pela rotação entre as porções internas e externas do plagioclásio e quartzo, demonstradas pela presença de porfiroclastos de plagioclásio apresentando maclamento polissintético com aspecto dobrado (Figuras 7.2c e 7.2d). Os cristais de plagioclásio e quartzo rotacionados encontram-se presentes conjuntamente com subgrãos de ambos os minerais. Outro tipo de recuperação cristalina presente no ACC ocorre por meio da migração entre os limites de grãos, ocorrendo preferencialmente em cristais de quartzo, no entanto também se encontra presente de forma subordinada em cristais de plagioclásio (Figuras 7.2b, 7.2e e 7.2f).

As feições de subgrãos foram observados nas bordas e no interior dos cristais de plagioclásio, em que são caracterizados por meio de sua individualização através dos processos deformacionais, resultando na formação de novos cristais com orientações óticas distintas variando mais que 5° entre si, tamanhos reduzidos e bordas bem delimitadas apresentando contatos poligonais e junções trípticas com os demais subgrãos. Também estão presentes subgrãos de quartzo mais intensamente com destacada extinção ondulante (Figuras 7.2a e 7.2b).

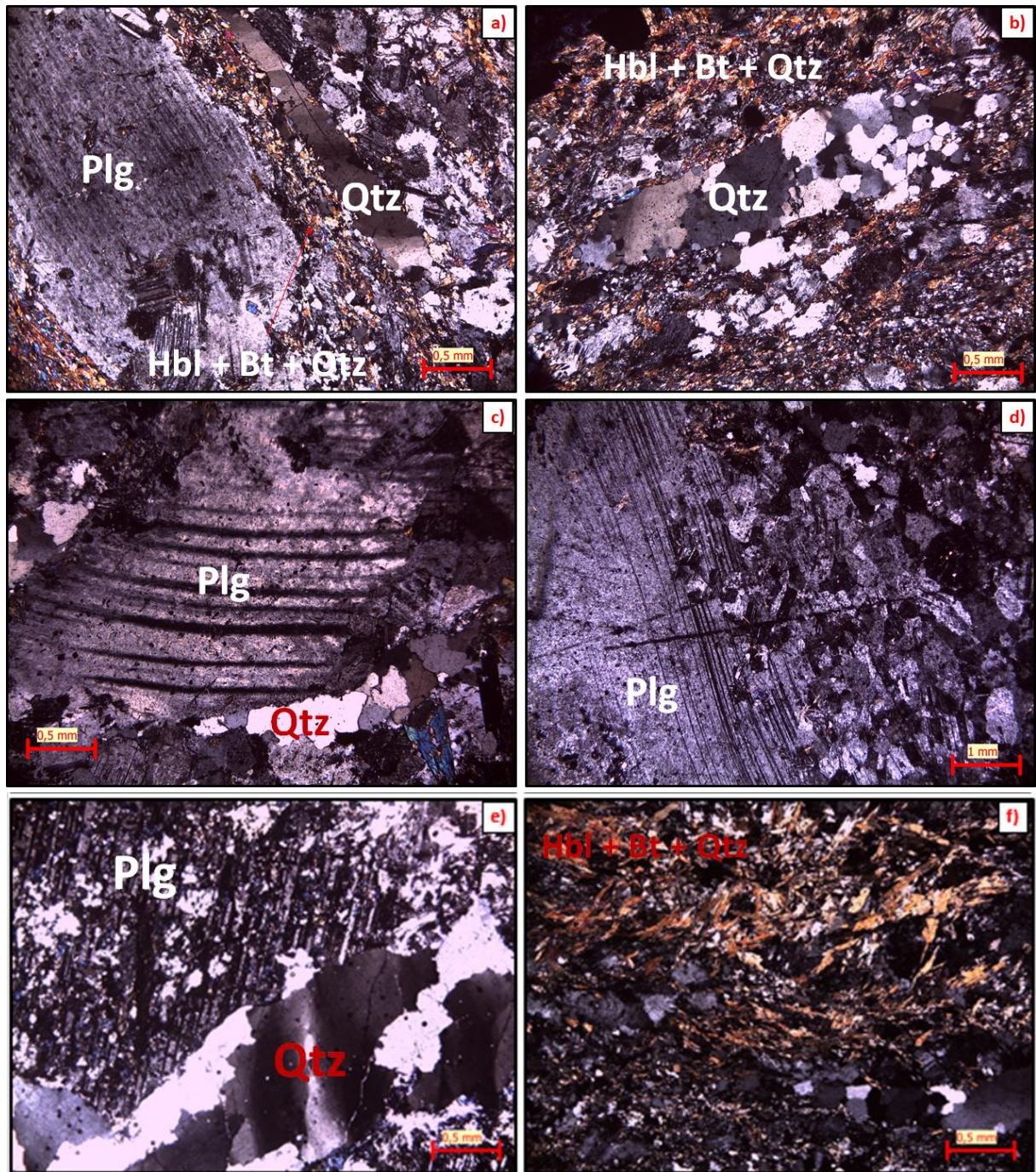
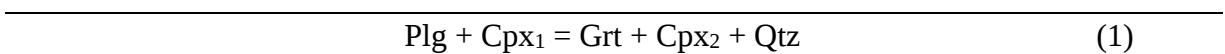


Figura 7.2 – Aspectos microestruturais formados em regime dúctil no Anortosito Carreira Comprida. a) porfiroclasto de plagioclásio lentiforme com segmentação de grãos menores rotacionados e forte cominuição nas bordas (agregados microgranulares) com foliação milonítica envolvente. Notar quartzo fitado com extinção ondulante e subgrãos na porção direita da imagem; b) grão de quartzo alongado e recrystalizado, envolvido pela foliação milonítica; c) cristal de plagioclásio com maclamento polissintético encurvado com lentes descontínuas, afiladas e com terminações em cunha, caracterizando a deformação mecânica; d) cristal deformado de plagioclásio com formação de múltiplos grãos poligonais por recrystalização dinâmica; e) borda de um cristal de plagioclásio com recrystalização em microcristais poligonais em sua porção inferior. Na porção inferior direita, exibe-se um cristal alongado de quartzo (*ribbon quartz*) com subgrãos; f) Porção da matriz definindo a foliação milonítica, caracterizada por biotita e agregados quartzo-feldspáticos.

C) Coronas de reação metamórfica e zoneamento cristalino

Sob determinadas condições metamórficas, as variações de pressão e temperatura incidentes na rocha podem proporcionar a formação de novos minerais por meio de reações envolvendo duas ou mais fases minerais, que de forma geral, ocorrem ao longo dos contatos entre os grãos e resultam no desenvolvimento das bordas de reação, formando texturas do tipo corona quando a(s) fase(s) neoformadas ocorrem concentricamente, englobando os cristais. As coronas metamórficas se dividem entre tipos mono- ou polimineralicos de acordo com a sua composição (Passchier & Trouw 1996).

Coronas formadas por granada em rochas em rochas metamórficas máficas são amplamente conhecidas (McLelland & Whitney 1980). Ellis & Green (1985) descrevem a reação para a formação da granada em rochas cumuláticas metamorfizadas, se tratando de um caso análogo ao registrado no ACC. Ambas as referências indicam que a formação de granada por processos metamórficos em rochas meta-ígneas é produto da liberação de íons Al, Si e Ca provenientes da descalcificação do plagioclásio, e os íons Mg, Mn e Fe supridos pela assembleia de minerais máficos presentes na rocha tal como a reação (1) abaixo :



No ACC as coroas de granada são comuns e demarcam as zonas de contato entre o plagioclásio e os cristais de clinopiroxênio e hornblenda. As coronas são formadas por concentrações de cristais de granada em agregados de cristais malformados, associados a finos cristais de quartzo nas zonas mais externas, caracterizando textura simplectíticas (Figuras 7.3a e 7.3b).

Outra feição coronítica é estabelecida nos contatos entre o plagioclásio e a ilmenita em que se desenvolvem agregados de titanita coroando cristais de ilmenita (Figura 7.3c). Em alguns casos há a participação de biotita nas reações (Figura 7.3d).

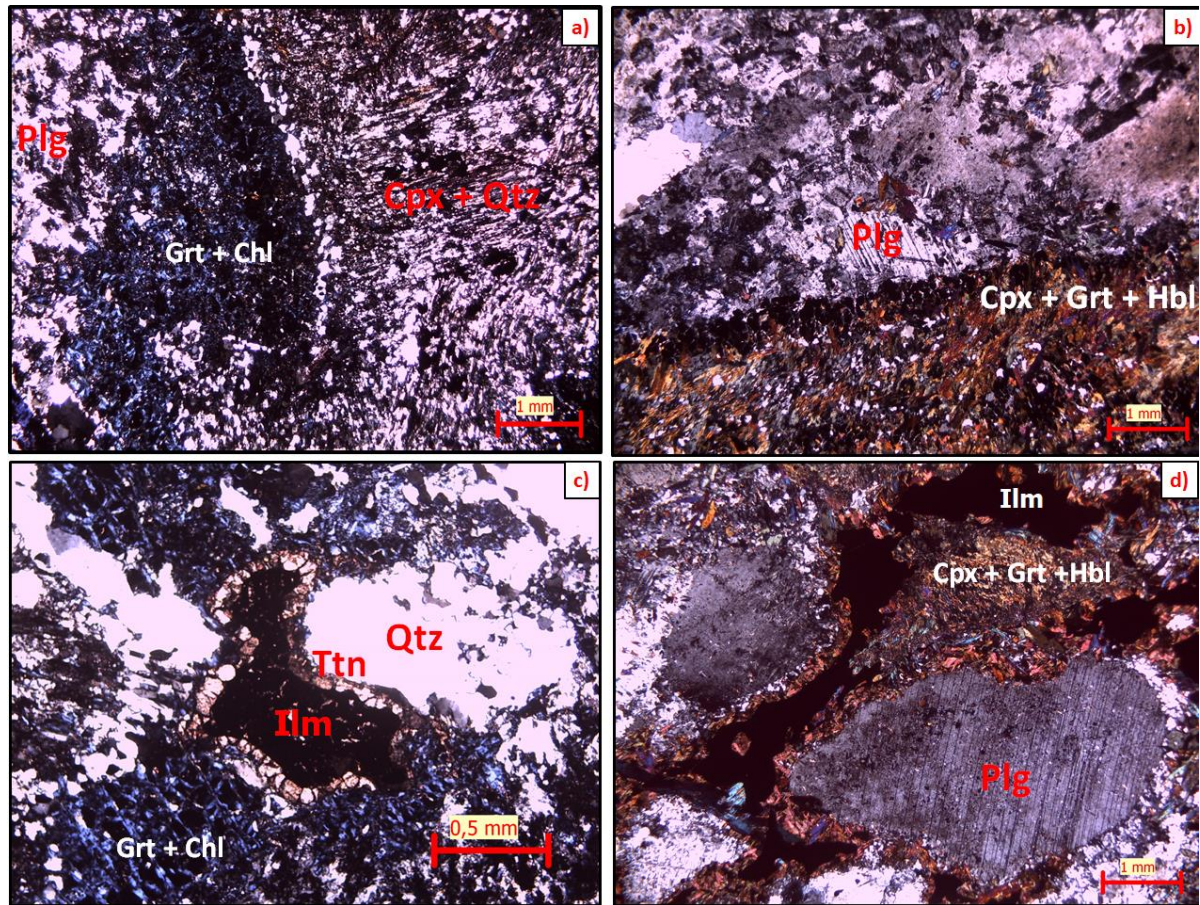
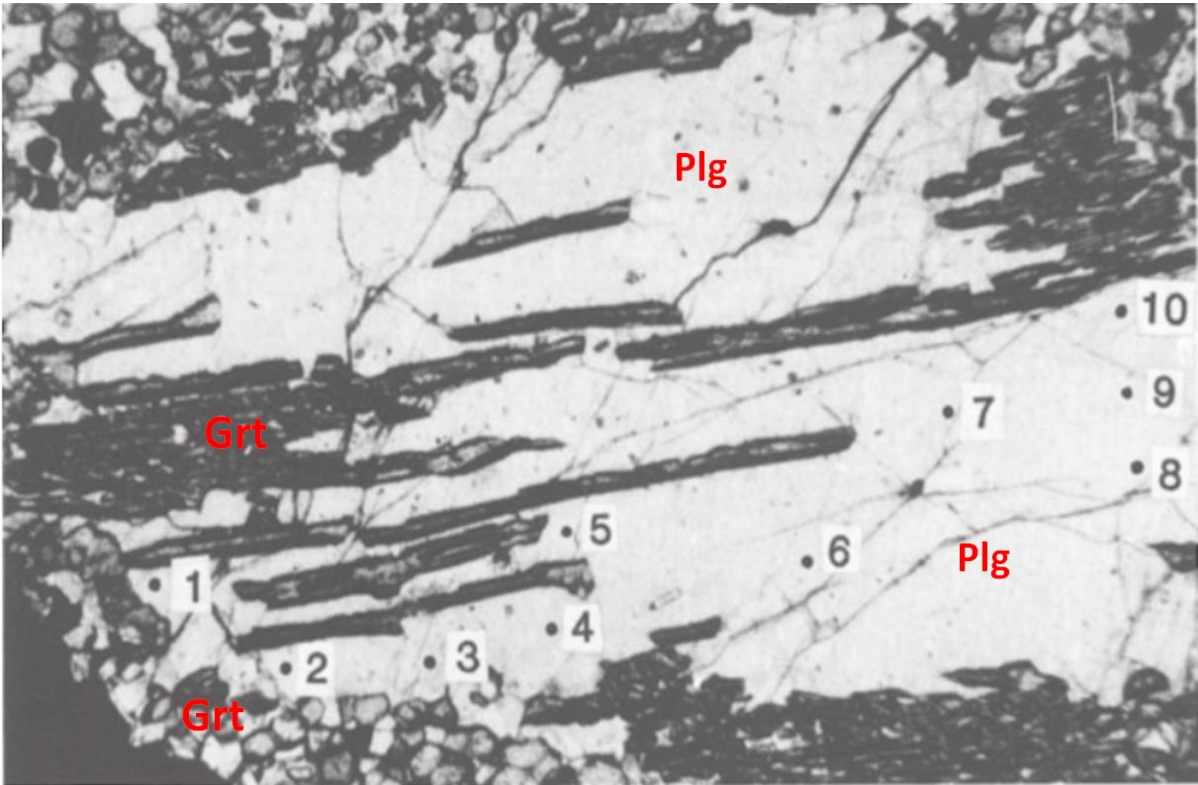


Figura 7.3 – Feições coroníticas de reação metamórfica. a) Coronas de granada (alteradas para clorita) e quartzo delimitando o contato entre um cristal de plagioclásio (a esquerda) e a matriz intercumulus da rocha (a direita). Nota-se que o quartzo ocorre nas extremidades mais externas da corona, formando uma finos agregados (GCC/18-05); b) corona de granada delimitando o contato entre o plagioclásio recrystalizado e os cristais de hornblenda e biotita pertencentes a matriz *intercumulus* (GCC/18-05); c) corona de titanita ao redor de um cristal de ilmenita (GCC/18-02); d) coronas de biotita e titanita delimitando o contato entre a ilmenita e o plagioclásio (GCC/18-06a).

Segundo Ashwal (1993), os efeitos do metamorfismo em anortositos são marcados por extensas mudanças no plagioclásio ao longo de sua recrystalização. A recrystalização do plagioclásio resulta na perda de Ca do mineral, induzindo sua participação em reações metamórficas formando granada, hornblenda ou epidoto. Em trabalhos sobre rochas anortosíticas do Maciço de Marcy (NY), este autor descreve que a descalcificação do plagioclásio em metamórficas também resulta no zoneamento químico do mineral, formando cristais com núcleos bastante cálcicos que vão se tornando cada vez mais sódicos conforme se aproximam das bordas do cristal (Figura 7.4).

No ACC a descalcificação do plagioclásio durante as reações metamórficas para formação de granada e a substituição mineral do mesmo para epídoto e sericita resultam no zoneamento composicional dos megacristais ou porfiroclastos de plagioclásio (figuras 7.2b e

7.2c). Dados analíticos coletados em MEV e exibidos na Tabela 5 e Figura 6.3 registrados durante o mapeamento composicional em um porfiroclasto de plagioclásio, revelam que as porções interiores do cristal possuem composição de anortita, ao passo que a perda de Ca nas porções mais externas resulta em uma composição no campo da labradorita, de acordo com o processos de descalcificação dos cristais de plagioclásio previamente descritos por Ashwal (1993).



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ab	76.8	72.9	70.4	63,7	70.2	64,0	61,5	61.5	61.9	72.1
An	20.7	25.0	27.8	34.6	27.4	34.2	36.6	36.7	36.3	25.2
Or	2.5	2.1	1.8	1.7	2.4	1.8	1.9	1.8	1.8	2.7

Figura 7.4 – Imagem fotomicrográfica de um anortosito pertencente ao Maciço de Marcy (NY), indicando pontos analíticos correspondentes ao mapeamento composicional no plagioclásio (em branco), em relação a formação de cristais lamelares ou coroníticos de granada (em preto, com alto relevo). Os pontos mais próximos as bordas do cristal revelam composição menos cálcica devido à perda de Ca para a formação da granada, os pontos 7, 8 e 9 são os mais cálcicos, os quais foram menos afetados pela reação (Ashwal 1982a).

d) Foliação e bandamento

O corpo anortosítico Carreira Comprida foi afetado pela ZCPN de modo que, tramas anisotrópicas tectônicas superpostas as estruturas magmáticas primárias são comuns, e as rochas são transformadas em anortositos miloníticos.

Os anortositos deformados apresentam uma foliação milonítica caracterizada pela orientação preferencial de porfiroclastos e agregados minerais de geometria lenticular, envoltos por uma foliação anastomosada. Esta foliação é definida pelo alinhamento de lamelas de biotita, quartzo fitado e esteira de finos grãos recrystalizados de plagioclásio (Figuras 7.5a e 7.5b).

Os processos de deformacionais presentes no ACC ocorrem de maneira heterogênea, acompanhadas do metamorfismo dinâmico, sendo bem caracterizados pela presença de domínios deformacionais em diferentes intensidades. Assim ocorrem casos extremos, com tipos petrográficos apresentando preservação parcial das feições primárias e outros tipos transformados em milonitos e ultramilonitos. Nos casos de maior intensidade da deformação, foram gerados bandamentos composicionais de proporções milimétricas a centimétricas, segregando leitos ricos em plagioclásio e outros apresentando concentrações de minerais máficos, devido a transposição tectônica (Figuras 7.5a e 7.5b). As foliações miloníticas e o bandamento presentes possuem *trends* estruturais concordantes aos observados no Maciço de Goiás e a ZCPN (Figura 5.2).

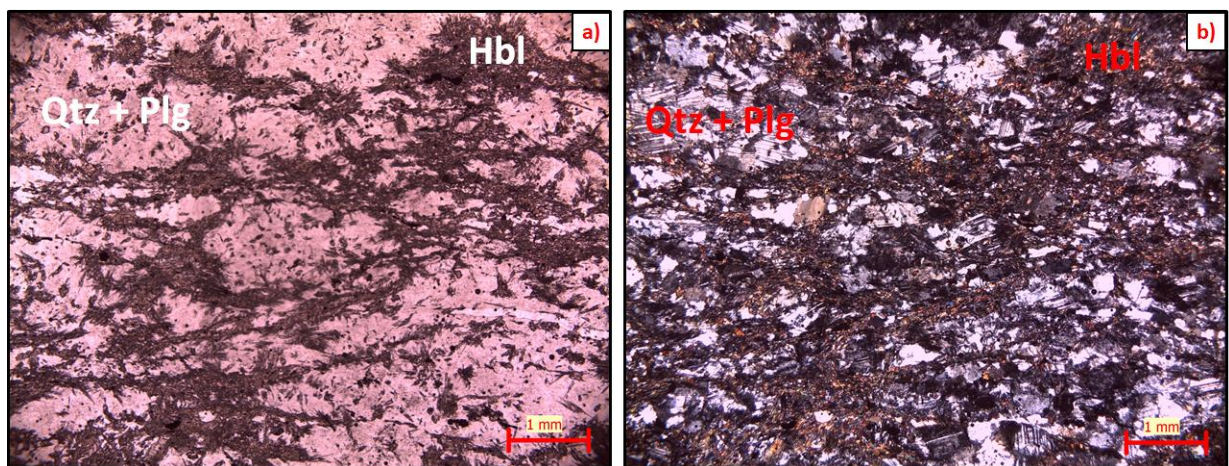


Figura 7.5 – a) e b) feições deformacionais e foliação milonítica provenientes da deformação imposta pela ZCPN sob luz natural e luz polarizada, respectivamente. Os domínios de cores claras são compostos por plagioclásio e quartzo, já os domínios mais escuros são caracterizados por cristais de hornblenda, biotita, opacos e clinopiroxênio.

8 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO METAMORFISMO ATUANTE NO ANORTOSITO CARREIRA COMPRIDA

No presente trabalho foram estudadas rochas plutônicas máficas de composição anortosítica inseridas no contexto geológico da região de Porto Nacional, com transformações metamórficas derivadas das condições deformacionais impostas pela ZCPN, o que caracteriza o metamorfismo incidente no ACC como sendo do tipo dinâmico, ao longo de uma zona de cisalhamento. A atuação da ZCPN na unidade resulta obliteração das feições magmáticas primárias e superimposição de feições de caráter metamórfico, destacando-se a formação da foliação milonítica condizente com o *trend* estrutural predominante na região (N25-40°E).

A superimposição das feições ígneas por texturas metamórficas também ocorre por meio da formação de uma assembleia metamórfica composta por Plg + Grt $\pm$ Hbl $\pm$ Bt + Ti + Qtz, substituindo os cristais de plagioclásio e clinopiroxênio dominantes nas assembleias exclusivamente magmáticas.

No entanto a ZCPN atua de forma heterogênea ao longo do ACC, localmente permitindo a presença de texturas cumuláticas, de fluxo magmático e preservando os cristais de piroxênio e plagioclásio com alto teor de Ca, neste caso foi possível caracterizar um domínio petrográfico consistindo em anortositos com feições magmáticas ainda preservadas, todavia este domínio também apresenta feições de natureza metamórfica presentes, que ocorrem de maneira subordinada.

Nos domínios petrográficos classificados como meta-anortositos, as feições magmáticas pretéritas variam entre parcialmente a totalmente obliteradas, de acordo com a intensidade da deformação atuante. A presença das feições cumuláticas ou magmáticas ocorre de maneira escassa e reliquiar, dando lugar a formação de porfiroclastos amendoados de plagioclásio envoltos por uma matriz de foliação milonítica de granulação média, ou fina dependendo da intensidade da deformação. Nos meta-anortositos também ocorrem a formação de microestruturas relacionadas a deformação sob condições dúcteis, tais como a extinção ondulante, recuperação cristalina e presença de subgrãos, retratando a mobilidade e maleabilidade entre os cristais, devido a intensidade da deformação promovida pelos esforços tectônicos da instalação da ZCPN.

A partir das análises petrográficas com auxílio do microscópio ótico e do microscópio eletrônico com EDS, foi possível dividir o ACC em três tipos petrográficos distintos de acordo com a intensidade da deformação e a paragênese: a) Anortositos com feições magmáticas

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compilação entre os dados de campo, as análises petrográficas, microestruturas e da literatura, permitem considerar que o ACC resulta de um plutonismo de natureza gabroica com superposição de deformação relacionada à implantação da ZCPN durante o neoproterozoico. As feições magmáticas ainda preservadas indicam a evolução a partir de um magmatismo gabroico registrado em alguns corpos na região de Porto Nacional, provavelmente relacionado a complexos estratiformes. Com o ACC deve representando uma fase relacionada à diferenciação magmática havendo a acumulação de megacristais de plagioclásio, durante sua cristalização final conforme abordado no capítulo 4.

Segundo Ashwal (1993), a presença de plagioclásio com composições variando entre anortita e bytownita, a ausência de ortopiroxênio e o alto teor de óxidos de Fe e Ti presentes, é possível inferir que o ACC é um anortosito do tipo maciço, originado a partir de um magmatismo de caráter toleítico, caso semelhante ao ocorrido no Anortosito Capivarita (Philipp, 2010).

A partir de estudos petrográficos e mineralógicos, foi possível discriminar o Anortosito Carreira Comprida em tipos petrográficos distintos: a) Anortositos com feições magmáticas preservadas (Plg + Cpx + Ilm) apresentando baixo grau de deformação em suas texturas cumuláticas e de fluxo magmático; b) meta-anortositos (Plg + Cpx + Hbl + Bt + Grt + Ttn); e c) anortositos miloníticos (Plg + Hbl + Bt + Grt + Ttn) ambos apresentando porfiroclastos de plagioclásio envoltos por uma matriz fina com foliação milonítica, havendo obliteração total ou parcial das texturas magmáticas pretéritas. Os domínios “b)” e “c)” são mineralogicamente semelhantes, com o domínio “c)” ocorrendo apenas como uma especificidade no interior dos meta-anortositos, o qual é caracterizado apenas pelo aumento do grau de deformação neste tipo petrográfico, resultando em menor granulação, foliação milonítica mais bem definida e maior intensidade da recristalização.

A formação de granada está relacionada a descalcificação do plagioclásio durante o metamorfismo, demonstrado na Equação 1, já a formação da titanita é interpretada como produto do metamorfismo incidente na rocha, o qual permitiu a liberação de íons Ca e Si provenientes do plagioclásio, ao passo que os íons o Ti e Fe são advindos dos minerais máficos presentes na rocha e do próprio cristal de ilmenita, sendo ambos fundamentais para a formação do mineral, o que somado a feições petrográficas, caracterizam os cristais de titanita no ACC

como estritamente metamórficos, podendo ser utilizados para eventuais datações acerca do metamorfismo incidente no plúton.

As análises petrográficas realizadas possibilitaram a identificação e caracterização das microestruturas observadas sob os tipos anortosíticos. As microestruturas formadas por deformação em condições de dúctil estão presentes ao longo de todo o corpo anortosítico, caracterizada por cristais com extinção ondulante, geminação por deformação, recuperação cristalina, recristalização e subgrãos. A recristalização ocorre predominantemente por meio da rotação de subgrãos, resultando na transformação dos porfiroclastos de plagioclásio primário em agregados recristalizados do mineral. A recristalização através da migração entre os limites de grãos ocorre de forma subordinada indicando deformação sob condições de menor *strain* e maior temperatura, ocorrendo localmente ao longo da ZCPN.

A partir da junção dos dados coletados durante as etapas de revisão bibliográfica, trabalho de campo, petrografia ótica, análises de MEV/EDS e análises microestruturais foi possível determinar a atuação do metamorfismo no ACC. Estimou-se condições metamórficas inseridas em fácies anfibolito em condições de média a alta pressão, sob temperaturas variando entre 600 a 700°C. No entanto, fases do retrometamorfismo resultam na formação de uma assembleia mineral sob condições mais amenas (Chl + Ep), inseridas na fácies xisto-verde (Figura 8.1).

A partir dos dados mineralógicos, texturais, microestruturais e através do mapa de amostragem do ACC (Figura 5.1), nota-se uma variação do grau metamórfico no interior do plúton entre as fácies anfibolito e xisto-verde. Adicionalmente, a deformação ocorre de forma mais intensa nos anortositos miloníticos situados na porção leste do plúton.

Dessa forma, com base nas variações na mineralogia primária, nas paragêneses metamórficas, nas microestruturas presentes no ACC é possível afirmar a importância do papel da ZCPN para a transformação da unidade, destacando-se que a mesma impôs condições de metamorfismo em fácies anfibolito sob condições de alto grau, estimando temperaturas de até 700°C.

REFERÊNCIAS

- Almeida F. F. M. 1977. Províncias estruturais brasileiras. *In: SBG, 8º Simpósio de Geologia do Nordeste. Anais...* Campina Grande, p. 363-391.
- Almeida F. F. M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Journal of Earth Sciences*, **17**:1-29.
- Ashwal L. D. 1982a. Mineralogy of mafic and Fe-Ti oxide-rich differentiates of the Marcy anorthosite massif. *Am Mineral*, New York, **67**:14-27.
- Ashwal L. D. 1993. *Anorthosites*. Berlin, Springer-Verlag, 438 p.
- Ashwal L. D., Myers J. S. 1994. Archean anorthosites. *In: Condie K. C (ed.). Archean crustal Evolution*, Amsterdam, Elsevier, p. 315–355.
- Barbosa O. *et al.* 1966. *Geologia estratigráfica, estrutural e econômica da área do Projeto Araguaia*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral. 186 p.
- Best M.G. 1995. *Igneous and metamorphic petrology*. Cambridge, Mass, Blackwell Science, xvi, 630 p.
- Bucher K. & Grapes R. 2011. *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Berlin, Springer-Verlag, 428p.
- Chaves C.L., Gorayeb, P.S.S., Moura C.A.V. 2008. Geologia, geocronologia e litoquímica dos granitos paleoproterozóicos tipo a do setor setentrional da Província tocantins. São Paulo, *Revista Brasileira Geociências*, **38**:366-378.
- Costa J.B.S. *et al.* 1982. *Projeto Porto Nacional: Relatório Final*. Belém, UFPA, 104 p.
- Cunha B. C. C. *et al.* 1981. Geologia. *In: BRASIL. Departamento nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SC.22 Tocantins: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, p. 21-196.
- Ellis D. J. & Green D. H. 1985. Garnet-forming reactions in mafic granulites from Enderby Land Antarctica-implications for geothermometry and geobarometry. *Journal of Petrology*, **26**(3):633–662.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman Y. 1966. *Minerais constituintes das rochas: uma introdução*. Lisboa, Portugal, Editora Fundação Calouste Gulbenkian, v. 1, 358 p.
- Fettes D. & Desmons J. 2008. *Metamorphic rocks: a classification and glossary of terms*. Cambridge University Press, v. 1, 258 p.
- Fossen H. 2010. *Structural geology*. Cambridge, Cambridge University Press, 463 p.

Fraga L.M.B. 2002. A associação anortosito-mangerito-granito-rapakivi (AMG) do Cinturão Guiana Central, Roraima, e suas encaixantes *paleoproterozoicas*: evolução estrutural, geocronologia e petrologia. PhD Thesis, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 363p.

Frasca A.A.S. & Araújo V.A. 2001. Programa Levantamentos Hidrológicos Básicos do Brasil – PLGB, Folha SD.22-Z-B, escala 1:250.000. Brasília, DF, Companhia Pesquisa Recursos Minerais, 52 p.

Fuck R.A., Pimentel M.M., Botelho N.F. 1987. Granitoid rocks in west-central Brazil: a review. *In: International Symposium of Granites and Associated Mineralizations*. Salvador, *Extended Abstracts* p. 53-59.

Gorayeb, P.S.S. 1996. *Petrologia e evolução crustal das rochas de alto grau de Porto Nacional-TO*. PhD Thesis, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 262p.

Gorayeb P.S.S, Moura C.A.V., Barros, G.R. 2000. Pb-Pb zircon ages of the Porto Nacional High-Grade Metamorphic Terrain, northern portion of the Goiás Massif, Central Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **30**(1):215-224.

Gorayeb P.S.S. & Moura C.A.V. 2001. Aspectos geológicos e geocronológicos do Anortosito Carreira Comprida, região de Porto Nacional-TO. *In: SBG-NO, 7º Simpósio de Geologia da Amazônia*, Anais, Belém, p. 554–557.

Gorayeb P.S.S., Pimentel M.M., Armstrong R., Galarza M.A. 2017. Granulite-facies metamorphism at ca. 570-580 Ma in the Porangatu Granulite Complex, central Brazil: implications for the evolution of the Transbrasiliano Lineament. *Brazilian Journal of Geology*, **47**(2):327-344.

Greenwood N.N. & Earnshaw A. 1998. *Chemistry of elements*. 2. ed. Amsterdam, Elsevier, p. 357.

Hawthorne F.C. 1981. The crystal chemistry of the amphiboles. *In: Veblen D.R. (ed.). Amphiboles and other hydrous pyriboles - mineralogy*. Washington, Mineralogical Society of America, 140 p. (Reviews in Mineralogy, v. 9A).

Lima H.A.F. 2007. *Geologia, petrologia e geocronologia das intrusões acamadadas máficas-ultramáficas de Porto Nacional, Tocantins, Brasil*. MD Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade de Brasília, Brasília,DF, 48 p.

Le Maitre R.W. 2002. *Igneous rocks: a classification and glossary of terms*. Recommendations of International Union of Geological Sciences subcommission on the systematics of igneous rocks. Cambridge, Cambridge University Press, 236 p.

- Vďačný M. & Bačík P. 2015. Provenance of the Permian Malužiná Formation sandstones (Malé Karpaty Mountains, Western Carpathians): evidence of garnet and tourmaline mineral chemistry. *Geologica Carpathica*, **66**(2):83-97
- McLelland J.M. & Whitney P.R. 1980. A generalized garnet-forming reaction for metaigneous rocks in the Adirondacks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **72**(2):111–122.
- Morimoto N. 1989. Nomenclature of pyroxenes. *The Canadian Mineralogist*, **27**:143-156.
- Passchier C.W. & Trouw, R.A.J. 1996. *Microtectonics*. Berlim, Springer Verlag, 289 p.
- Phillip R.P., Formoso M.L.L., Dossin I., Chemale Jr. F., Campos R.S. 2010. Estruturas primárias e tectônicas do Anortosito Capivarita, Pântano Grande (RS): Significado e implicações na sua evolução petrológica. *Revista Brasileira de Geociências*, **40**(1):99-110
- Pimentel M.M., Jost H., Fuck R.A. 2004. O Embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. In: Mantesso N. (ed.) *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques*. São Paulo, Beca, p.355-370.
- Ribeiro P.S.E. & Alves C.L. 2017. *Geologia e recursos minerais da região de Palmas – folhas Miracema do Norte SC.22-X-D, Porto Nacional SC.22-Z-B e Santa Teresina SC.22-Z-A. Escala 1:250.000*, Goiânia, CPRM, 483 p.
- Spear F.S. 1994. *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths. Monograph*. 799 p. (Mineralogical Society of America, v. 2).
- Spry A. 1969. *Metamorphic textures*. Oxford, Elsevier. 358 p.
- Streckeisen A.L. 1974. *Classification and nomenclature of plutonic rocks. Recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks*. Stuttgart, Internationale Zeitschrift für Geologie, p. 773-786. (Geologische Rundschau, 63, n.2)
- Trouw R.A.J., Passchier C.W., Wiersma D.J. 2009. *Atlas of mylonites – and related microstructures*. Berlin, Springer Science & Business Media, 322 p.
- Vernon R.H. 2004. *A practical guide to rock microstructure*. Cambridge, Cambridge University Press, v. 1, 594p.
- Winter J.D. 2010. *An introduction to igneous and metamorphic petrology*. New Jersey, Pearson Prentice Hall, v. 2, 702 p.
- Zane A. & Weiss Z. 1998. A procedure for classifying rock-forming chlorites based on microprobe data. *Rendiconti Lincei Scienze Fisiche e Naturali Serie*, **9**(1):51-56.

APÊNDICE A – TABELA AMOSTRAS COLETADAS.

Sigla	LAT	LONG
GCC18-01	48°25'29"	10°48'50"
GCC18-02	48°25'18"	10°48'50"
GCC18-03	48°25'23"	10°48'50"
GCC18-04	48°28'15"	10°48'30"
GCC18-05	48°28'53"	10°52'19"
GCC18-06	48°49'49"	10°52'35"
GCC18-07	48°27'56"	10°48'08"
PPV-V-16	48°26'09"	10°49'03"