



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

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC**

**ESTUDO PETROGRÁFICO E MINERALÓGICO POR MEV-  
EDS DOS GRANITÓIDES DA MINA DA SERVENG,  
PERTENCENTES A SUÍTE ROSÁRIO - NOROESTE DO  
ESTADO DO MARANHÃO**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:**

**LUCAS YAN DE OLIVEIRA PEREIRA**

**Orientador: Prof. Dr<sup>a</sup>. ROSEMERY DA SIVA NASCIMENTTO  
(IG/UFPA)**

---

**BELÉM – PARÁ**

**2019**



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

---

**ESTUDO PETROGRÁFICO E MINERALÓGICO POR MEV-EDS DOS  
GRANITÓIDES DA MINA DA SERVENG, PERTENCENTES A SUÍTE  
ROSÁRIO - NOROESTE DO ESTADO DO MARANHÃO**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:**

**LUCAS YAN DE OLIVEIRA PEREIRA**

**Orientador: Prof. Dr<sup>a</sup>. ROSEMERY DA SILVA NASCIMENTO  
(IG/UFPA)**

---

**BELÉM – PARÁ**

**2019**

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)

---

P436e Pereira, Lucas Yan de Oliveria

Estudo petrográfico e mineralógico por MEV-EDS dos granitoides da mina da Serveng, pertencentes a Suíte Rosário - noroeste do Estado do Maranhão / Lucas Yan de Oliveria Pereira. — 2019.

xiv, 51 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Rosemery da Silva Nascimento  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Suíte Rosário. 2. Granitos. 3. Cráton São Luís. I. Título.

CDD 558.1

---



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

---

**ESTUDO PETROGRÁFICO E MINERALÓGICO POR MEV-EDS DOS  
GRANITÓIDES DA MINA DA SERVENG, PERTENCENTES A SUÍTE  
ROSÁRIO - NOROESTE DO ESTADO DO MARANHÃO**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado por:**

**LUCAS YAN DE OLIVEIRA PEREIRA**

**Como requisito para à obtenção do Grau de Bacharel em Geologia**

Data da Aprovação: 03 /12/2019

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rosemery da Silva Nascimento  
(Orientador – UFPA)

Prof. Dr. Cláudio Nery Lamarão  
(Membro - UFPA)

Msc. Bruna Karine Correa Nogueira  
(Membro - UFPA)

*Dedico ao meu avô, Mauro Anselmo  
(in memoriam).*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer imensamente a todos que, de alguma forma, contribuíram com a minha formação como geólogo. Em especial gostaria de destacar:

Meu avô Mauro, que infelizmente não está mais nesse mundo, mas que me incentivou, ajudou, cuidou e torceu por mim em todos os momentos.

Minha avó Cléria Mesquita e meus pais, Sidney Pereira e Geinner Oliveira, por todo amor e suporte.

Meus irmãos, Yago, Samuel e Igor. Que mesmo sem perceber me incentivam todos os dias.

Bianca Farias, por ser a luz dos meus dias e por tornar esses cinco anos menos difíceis.

Professora Rosemery Nascimento, pelas suas orientações e por ser uma ótima professora, tutora e amiga.

Os novos amigos que fiz durante a graduação, em especial os amigos do SMITE, pelos momentos de diversão e estudo e pelos conhecimentos compartilhados.

Os amigos de Capitão Poço, aqueles que trago no peito, com quem sempre posso contar.

A Faculdade de Geologia por proporcionar um ambiente adequado de estudo e aprendizagem, com quadro de professores e técnicos competentes e bons laboratórios.

A UFPA e o IG, que além de possibilitar minha formação acadêmica, proporcionaram ótimas experiências que levarei para o resto da vida.

O Grupo PET-Geologia e todas as pessoas que dele fazem parte.

E os demais professores desta faculdade que contribuíram com a minha formação.

*“Amar e mudar as coisas me interessa mais.”*  
- Belchior

## RESUMO

A Suíte Rosário é um batólito formado por um conjunto de plútons graníticos com idades paleoproterozoicas (2,08 – 2,17 Ga) de composição tonalítica e granodiorítica originado a partir de um extenso magmatismo de afinidade cálcio-alcalina. Estão expostos em janelas tectono-erosivas na cidade de Rosário (Maranhão) à 70Km sul de São Luís. A suíte faz parte de um núcleo cratônico denominado de Cráton São Luís, que representa um fragmento do Cráton do Oeste Africano deixado na Plataforma Sul-Americana após a abertura do Oceano Atlântico durante a fragmentação do Supercontinente Pangea. Tratam-se de rochas maciças, leucocráticas e holocristalinas com granulação predominantemente grossa. Este trabalho tem como objetivo o estudo petrográfico e mineralógico das rochas da Suíte Rosário, e relacioná-las com sua utilização para fabricação de brita na região. Para isso foram feitas análises petrográficas em microscópio óptico por meio de lâminas delgadas de três amostras que variam suas composições entre tonalíticas e quartzo dioríticas, tendo mineralogia principal composta por plagioclásio, quartzo e anfibólio. Também foram feitas análises químicas pontuais semi-quantitativas com MEV-EDS em lâmina polida, proporcionando um panorama mais claro em relação a composição mineralógica das rochas da Suíte Rosário, como a natureza sódica dos plagioclásios e cálcica dos anfibólios.

Palavras-chave: Suíte Rosário. Granitos. Cráton São Luís.

## ABSTRACT

The Rosário Suite is a batolith formed by a set of paleoproterozoic-aged granite plutons (2.08 - 2.17 Ga) of tonalitic and granodioritic composition originated from an extensive calcium-alkaline affinity magmatism. They are exposed in tectono-erosive windows in the city of Rosario (Maranhão) 70Km south of São Luís. The suite is part of a cratonic nucleus called São Luís Craton, which represents a fragment of the West African Craton left on the South American Platform. after the opening of the Atlantic Ocean during the fragmentation of the Pangea Supercontinent. These are massive, leucocratic and holocrystalline rocks with predominantly coarse particle size. This work has as objective the petrographic and mineralogical study of the Rosário Suite rocks, and relate them with their use for crushed stone production in the region. For this, petrographic analyzes were performed under optical microscope through thin slides of three samples that vary their compositions between tonalitic and dioritic quartz, with the main mineralogy composed by plagioclase, quartz, amphibole. Semi-quantitative punctual chemical analyzes were also performed with SEM-EDS in polished lamina, providing a clearer picture of the mineralogical composition of the Rosário Suite rocks, such as the sodic nature of the plagioclase and the amphibole calcic.

Key-words: Rosário Suite. Granites. São Luís Craton.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- Mapa de localização da cidade de Rosário (em rosa) em relação ao estado do Maranhão, evidenciando uma região dentro dos domínios da cidade onde há mineração de brita, no qual se localiza a mina da Serveng, local onde foram coletadas as amostras analisadas. ....5
- Figura 2 Diagramas geoquímicos discriminantes de ambientes tectônicos: a)  $y+nb$  versus  $rb$ , Pearce et al. (1984), b)  $zr$  versus  $(nb/zr)^n$  (Thiéblemont & Téguyey, 1994 e c)  $\log[cao/na2o+k2o]$  versus  $sio2$ , de Brown et al. (1984) para as rochas do cráton são luis (Suíte rosário). Retirado de Nogueira, 2015. ....7
- Figura 3 Mapa geológico simplificado e coluna estratigráfica do Cráton São Luís e do Cinturão Gurupi nos Estados do Pará e Maranhão, destacando a sudeste a região de ocorrência da Suíte Rosário. Adaptado de Gorayeb et al. (1999), Vasquez & Rosa Costa (2008), Sousa et al. (2012), Klein et al. (2012) e Nogueira et al. (2017). ....8
- Figura 4 Coluna cronoestratigráfica simplificada do Cráton São Luis, exemplificando a estratigrafia do cráton a partir de dados retirados de (Klein 2004), Klein et al. (2005). 10
- Figura 5 Mapa geológico simplificado da região do Cinturão Gurupi e parte do Cráton São Luís. Retirado de Klein (2004). ....11
- Figura 6 Coluna cronoestratigráfica simplificada do cinturão gurupí denotando a estratigrafia com as principais unidades da região e confeccionada a partir de dados retirados de palheta (2001), klein (2004), klein et al. (2005). ....12
- Figura 7 Mapa geológico simplificado da porção do Cráton São Luís onde se localiza a Suíte Rosário além de outras unidades litoestratigráficas. Está destacado a localização da mina da Serveng, local onde as amostras deste trabalho foram coletadas. ....14
- Figura 8 À esquerda representação gráfica das análises feitas por Nogueira (2015) para os granitoides da Suíte Rosário determinando afinidade cálcio-alcálica. À direita diagrama geoquímico de tipologia de granitoide:  $zr+nb+ce+y$  versus  $feot/mgo$ , Whalen et al. (1987), retirados de Nogueira (2015). ....15
- Figura 9 O gráfico mostra o número total de usinas de britagem por estados no Brasil em 2015. Nota-se que os estados do sul e sudeste detêm a maior quantidade delas (fonte: DNPM, 2018). ....19
- Figura 10 O gráfico mostra a produção anual de brita por estado em toneladas. São Paulo foi o líder em produção entre os estados brasileiro no ano de 2015 (fonte: DNPM, 2018). ...19
- Figura 11 Diagrama Q-A-P (Streckeisen, 1976) com a classificação modal das amostras analisadas da Suíte Rosário. ....25

- Figura 12 Representação macroscópica da amostra LR-01 (a) com coloração em cinza mais claro que a amostra LR-03 (b) a qual possui um tom de cinza mais escuro. Percebe-se que ambas são maciças, com granulação grossa e equigranulares. ....26
- Figura 13 No centro da fotomicrografia um mineral de plagioclásio à nicóis cruzados (nc) representativo da rocha. Percebe-se seu hábito prismático com faces subédricas e contatos em sua maioria retos. Possui maclas do tipo periclina, está bastante alterado para sericita. ....27
- Figura 14 Plagioclásio (nc) com maclas do tipo albita-periclina, com faces subédricas e alterado para sericita, em contato reto com o plagioclásio está presente um cristal de anfibólio alterado para clorita. ....28
- Figura 15 Anfibólios à luz natural (ln). Percebe-se que ainda preservam hábitos prismáticos, mesmo que na maioria das vezes suas faces estejam bastante irregulares. Estão alterados para clorita, argilo-mineral, epidoto e tremolita-actinolita subordinadamente.....29
- Figura 16 Cristais de quartzo à nicóis cruzados (nc). É possível perceber seus hábitos prismáticos e granulares, suas faces majoritariamente subédricas, um leve estiramento e migração do limite de grão.....30
- Figura 17 Cristais de quartzo (nc) com faces anédricas e contatos irregulares. ....30
- Figura 18 Amostra Ir-02 de mão. Além da coloração rosa, a rocha apresenta porções esverdeadas decorrente da alteração para clorita.....31
- Figura 19 Plagioclásio (nc) no centro com maclas do tipo albita. Possui hábito prismático e encontra-se bastante alterado para sericita e epidoto, bem representativo da rocha. Possui contatos retos com o quartzo. ....32
- Figura 20 Cristal de plagioclásio (nc) com maclas do tipo albita-periclina. Está fortemente alterado para sericita, percebe-se também alteração para epidoto. À esquerda o plagioclásio altera para carbonato. ....33
- Figura 21 Cristal de plagioclásio prismático (nc) no centro com maclas do tipo carls-bad. Este tipo de macla ocorre de maneira mais restrita em comparação com as outras que estão presentes na rocha.....33
- Figura 22 Plagioclásio (nc) prismático alterando para carbonato e epidoto. Possui grãos de quartzo inclusos.....34
- Figura 23 Plagioclásio (nc) alterado para epidoto e o processo de saussuritização. ....34
- Figura 24 Cristais de quartzo (nc) no centro. Possuem faces anédricas e também subédricas. Seus contatos com o plagioclásio são retos e irregulares. Percebe-se que há migração do limite de grão.....35

- Figura 25 Análise mev-eds no plagioclásio. Os teores de na são maiores que os de ca, portanto os plagioclásios são sódicos, mais especificamente oligoclásios. Além disso há k derivado da alteração para sericita muito comum nesta rocha. ....37
- Figura 26 Plagioclásio alterado para sericita. Percebe-se três fases minerais. A análise de eds abaixo corresponde a alteração do plagioclásio para epídoto. ....38
- Figura 27 Análises de mev-eds em plagioclásios alterados. A alteração é formada por minerais de hábitos lamelares ricos em k e al, correspondente a sericitização. ....39
- Figura 28 Análise mev-eds da hornblenda mostram que há grandes concentrações de ca e fe e nenhum mg, correspondendo ao grupo das fe-hornblendas. Além disso, o difratograma sinaliza a forte alteração para epídoto.....40
- Figura 29 As bordas possuem pouco ca e bastante mg e al (1), nas bordas apresentam teores de ca mais elevados (2). Em (3) as concentrações de p, f e ca são muito altas devido a presença de apatitas inclusas nas hornblendas. ....42
- Figura 30- Na imagem de mev estão cristais de hornblenda alteradas para clorita e epídoto. A análise feita por eds consta elevados teores de ti que estão relacionados com a titânita microgranular comumente associada a hornblenda. ....43
- Figura 31- Análises de mev-eds mostram que a porção central do veio apresenta teores elevados de ca (1) e baixos de al, já na borda (2) há altas concentrações de al, ca, Mg e si. ....45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Impactos relacionados a exploração de rochas em frente de lavra para produção de brita. Fonte: (Bacci <i>et al.</i> 2006) .....	13
Tabela 2 – Principais impactos gerados e relacionados a produção de brita em usinas de britagem. Fonte: (Bacci <i>et al.</i> 2006) .....	14
Tabela 3 – Dados de EDS obtidos a partir da análise do plagioclásio.....	58
Tabela 4 – Dados de EDS obtidos a partir da análise da hornblenda alterada para epídoto.....	58

**SUMÁRIO**

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>EPÍGRAFE</b> .....	vi
<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1 APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS</b> .....	1
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	3
<b>3 LOCALIZAÇÃO</b> .....	5
<b>4 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	6
<b>4.1 CRÁTON SÃO LUÍS</b> .....	6
<b>4.2 CINTURÃO GURUPI</b> .....	12
<b>4.3 SUÍTE ROSÁRIO</b> .....	13
<b>4.3.1 GEOLOGIA ESTRUTURAL E PROCESSOS TERMO-TECTÔNICOS</b> ....	16
<b>5 EXPLORAÇÃO DE GRANITÓIDES PARA FABRICAÇÃO DE BRITA</b> ....	18
<b>5.1 EXPLORAÇÃO, PRODUÇÃO E MÉTODOS DE LAVRA</b> .....	18
<b>5.2 PRODUÇÃO DE BRITA NO ESTADO DO MARANHÃO</b> .....	19
<b>5.3 UTILIZAÇÃO</b> .....	20
<b>5.4 IMPACTOS AMBIENTAIS</b> .....	20
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	24
<b>6.1 PETROGRAFIA</b> .....	24
<b>6.1.1 TONALITO</b> .....	25
<b>6.1.2 QUARTZO DIORITO</b> .....	31
<b>5.2 ANÁLISES QUÍMICAS POR MEV-EDS</b> .....	36
<b>5.2.1 Plagioclásio</b> .....	36
<b>5.2.2 Hornblenda</b> .....	39
<b>5.2.3 Veio de carbonato</b> .....	43
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	46
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	49

## INTRODUÇÃO

### 1.1 APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS

Sequências metavulcanossedimentares e granitoides de idade pré-cambriana estão expostos na região entre o nordeste do estado do Pará e noroeste do Estado do Maranhão. De acordo com estudos geológicos e geocronológicos, essas rochas fazem parte de um núcleo cratônico paleoproterozoico denominado de Cráton São Luís (Gorayeb *et al.* 1999). O cráton foi definido por Almeida (1967) e representa um fragmento do Cráton do Oeste Africano deixado na Plataforma Sul-Americana após a abertura do Oceano Atlântico durante a fragmentação do Supercontinente Pangea. As rochas que dão origem ao Cráton São Luís foram formadas durante o Riaciano entre 2240 Ma e 2150 Ma em ambientes de arcos de ilha intra-oceânicos (Klein *et al.* 2005). É bordado a sul pelo Cinturão Gurupi e o limite balizador entre esses dois domínios é a Zona de Cisalhamento Tentugal (Klein 2004), (Klein *et al.* 2005).

Afloram à proximadamente 70 Km sul da cidade de São Luis um conjunto de granitoides pertencentes ao Cráton São Luis definidos por Gorayeb *et al.* (1999) como Suíte Rosário. Trata-se de um conjunto de plutons graníticos de idade paleoproterozoica (2,08-2,14Ga) (Gorayeb *et al.* 1999) de composição tonalítica, granodiorítica e quartzodiorítica. São rochas maciças, leucocráticas, holocristalinas com granulação predominantemente grossa, tendo uma mineralogia essencial composta por plagioclásio, quartzo, anfibólio e feldspato potássico, e como minerais acessórios são comuns a titatina, clorita, epidoto, zircão e apatita.

Essas rochas são amplamente exploradas na região para utilização na construção civil, à exemplo do que vem fazendo a mineradora Serveng, que explora esses granitoides para a fabricação de brita que posteriormente será utilizada para abastecer a indústria, como base para a fabricação de concreto, pavimentações e edificações. As rochas da Suíte Rosário, por se tratarem de rochas ígneas, possuem uma maior resistência abrasiva, por esse motivo são muito utilizadas em concretos de pavimentação. A textura da rocha é um fator importante para a construção civil já que a cominuição para a fabricação de britas de determinada granulometria está condicionada a granulação dos minerais que constituem a rocha (Silva 2016). Além disso, rochas

plutônicas fornecem agregados de excelente qualidade, pois são resistentes, tem baixa porosidade e absorção de água (Silva 2016).

Este trabalho objetivou um estudo petrográfico e mineralógico refinado em rochas da Suíte Intrusiva Rosário, considerando que não havia nenhuma análise com Microscópio Eletrônico de Varredura com Sistema de Energia Dispersivo (MEV-EDS) nessas rochas. Dessa forma contribuindo para o conhecimento e o estudo dos processos magmáticos e metamórficos. Além disso, o trabalho visou enfatizar a aplicabilidade dessas rochas, sendo elas exploradas pela mineradora Serveng para dar origem a agregados de construção civil, e relacionar as principais características como, mineralogia, textura e estruturas com a qualidade das britas as quais dão origem.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos envolveram essencialmente revisão bibliográfica, levantamento bibliográfico sobre as atividades exploratórias na região, elaboração de mapas, descrição mineralógica, análises petrográficas, análise de MEV-EDS e classificação das amostras.

1. A revisão bibliográfica baseou-se na consulta de artigos publicados e livros didáticos com informações a respeito da Suíte Rosário, no contexto do Cráton São Luís e sobre as atividades de exploração na região.
2. Foram elaborados e adaptados mapas de localização e geológicos da área de estudo com o auxílio do aplicativo *Google Earth Pro v7.1.8.3036* e do *software ArcGis 10.4.1*.
3. Descrição mineralógica e as análises petrográficas foram realizadas nos laboratórios de petrografia do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), por meio de microscópios óticos de luz polarizada e no Museu de Geociências no laboratório LaMiga – Raios X/MEV, pertencente ao mesmo instituto, por meio do Microscópio Eletrônico de Varredura com Sistema de Energia Dispersivo (MEV-EDS).

As amostras descritas da Suíte Rosário foram coletadas em campo e no acervo geológico da UFPA. Foram confeccionadas três lâminas delgadas e três lâminas polidas na oficina de laminação do IG. As lâminas delgadas são obtidas por meio de uma seção de 0,3mm. As descrições mineralógicas das amostras estudadas foram realizadas no microscópio de luz polarizada. Esse microscópio se diferencia dos modelos convencionais pela presença de dois polarizadores, um abaixo e outro acima da lâmina. As lâminas polidas foram utilizadas para análises petrográficas e mineralógicas por meio do MEV-EDS, pois lâminas polidas evitam o efeito da direcionalidade dos sinais. Já que as análises por MEV-EDS consistem na irradiação de um feixe de elétrons no material a ser analisado, tendo como resultado uma série de radiações emitidas que captadas corretamente fornecem informações características sobre a amostra, como: topografia da superfície, composição, cristalografia, etc. AS condições de análises foram: EDS (kV): 15.0 Vácuo: Baixo; Preparo da amostra: sem metalização; Ampliação da imagem: 15-30000x (zoom digital 2x, 4x); Tempo de aquisição da imagem (s): 30.

Para a classificação das rochas e identificação dos minerais essenciais, acessórios e secundários foram utilizadas as metodologias e diagramas apresentados por Streckeisen (1976).

### 3 LOCALIZAÇÃO

A cidade de Rosário está localizada no estado do Maranhão no nordeste brasileiro há 46 km à sul da capital do estado, São Luís (figura 1). Possui uma área total de 685 km<sup>2</sup>, e faz fronteira com os municípios de Presidente Juscelino, Bacabeira e São Luís. Nas proximidades da zona urbana da cidade de Rosário há intensa exploração de granitoides para utilização principalmente na construção civil, como a mineração de brita pela Serveng, na localidade de Itamirim de Baixo. Isso ocorre pelo fato de que nessa região afloram diversos corpos graníticos e sequências metavulcanossedimentares do Paleoproterozóico interpretados como fragmentos do Cráton de São Luís denominados Suíte Rosário (Klein 2004).

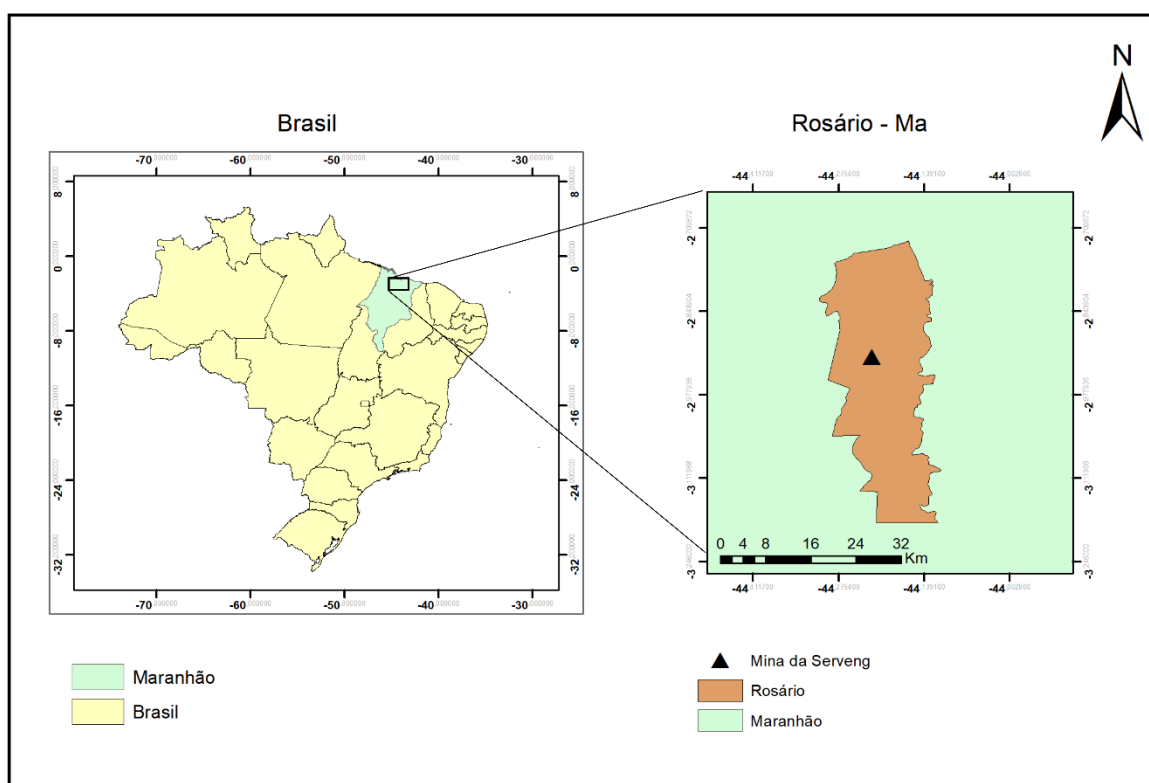


FIGURA 1- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE ROSÁRIO (EM ROSA) EM RELAÇÃO AO ESTADO DO MARANHÃO, EVIDENCIANDO UMA REGIÃO DENTRO DOS DOMÍNIOS DA CIDADE ONDE HÁ MINERAÇÃO DE BRITA, NO QUAL SE LOCALIZA A MINA DA SERVENG, LOCAL ONDE FORAM COLETADAS AS AMOSTRAS ANALISADAS.

## 4 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Entre o nordeste do estado do Pará e noroeste do estado do Maranhão janelas tectono-erosivas em coberturas fanerozoicas expõe sequências metavulcanossedimentares e granitoides pré-cambrianos. Estudos geológicos e geocronológicos desenvolvidos nessa região sugerem a existência de um núcleo cratônico paleoproterozoico, denominado Cráton São Luís (Gorayeb *et al.* 1999). Ao sul da cidade de São Luís (MA) estão expostos um conjunto de múltiplos plutons tonalíticos, granodioríticos e graníticos, cálcio-alcálicos, com assinaturas de granitos tipo I denominados de Suíte Rosário. Essas rochas, que fazem parte do Cráton, apresentam-se metamorfisadas na fácies xisto-verde como resultado da influência da zona de zonas que afetaram a região.

### 4.1 CRÁTON SÃO LUÍS

O Cráton São Luís é uma unidade geotectônica definida por Almeida (1967), representa uma porção da crosta continental pré-cambriana e é considerado como um fragmento do Cráton do Oeste Africano deixado na Plataforma Sul Americana após a quebra do supercontinente Pangea. Representa um orógeno paleoproterozoico (Riaciano) composto por rochas predominantemente juvenis formadas entre 2240 Ma e 2150 Ma em ambientes de arcos de ilha intra-oceânicos (Klein *et al.* 2005a). É bordado a sul pelo Cinturão Gurupi e o limite balizador entre esses dois domínios é a Zona de Cisalhamento Tentugal (figura 3) (Klein, 2004). O cráton é composto por rochas metavulcano-sedimentares, granitoides e rochas vulcânicas de idade proterozoica (Klein *et al.* 2014).

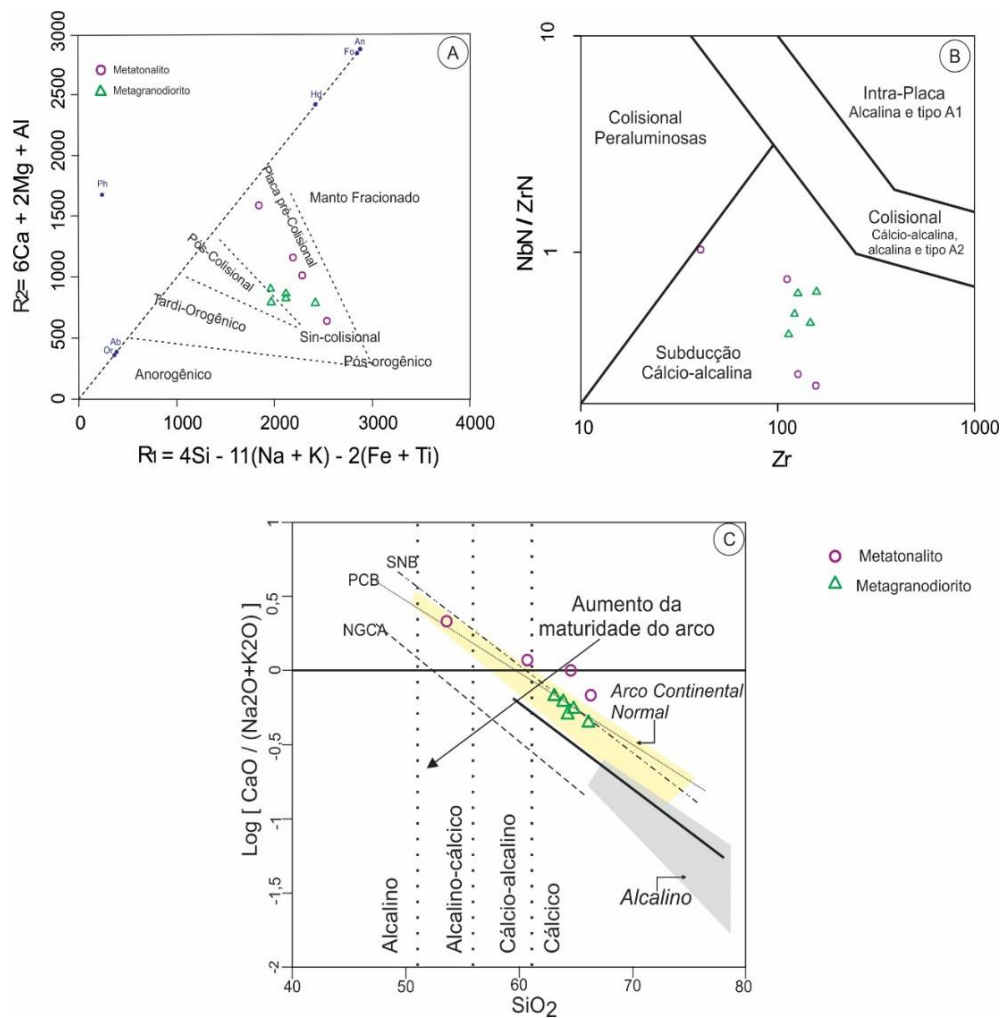
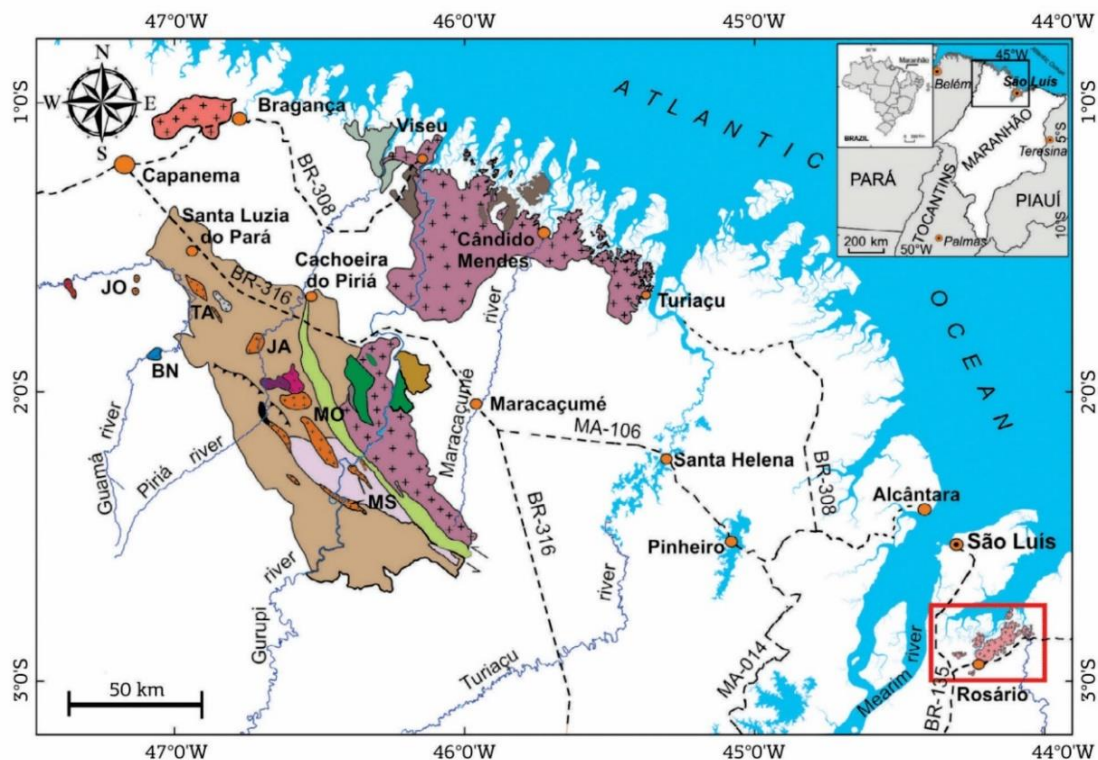


FIGURA 2 - DIAGRAMAS GEOQUÍMICOS DISCRIMINANTES DE AMBIENTES TECTÔNICOS: A) Y+Nb VERSUS RB, PEARCE ET AL. (1984), B) Zr VERSUS (Nb/Zr)N (THIÉBLEMONT & TÉGYEY, 1994 E C)  $\log [CaO / (Na_2O + K_2O)]$  VERSUS  $SiO_2$ , DE BROWN ET AL. (1984) PARA AS ROCHAS DO CRÁTON SÃO LUIS (SUÍTE ROSÁRIO). RETIRADO DE NOGUEIRA, 2015.



Unidades Litoestratigráficas

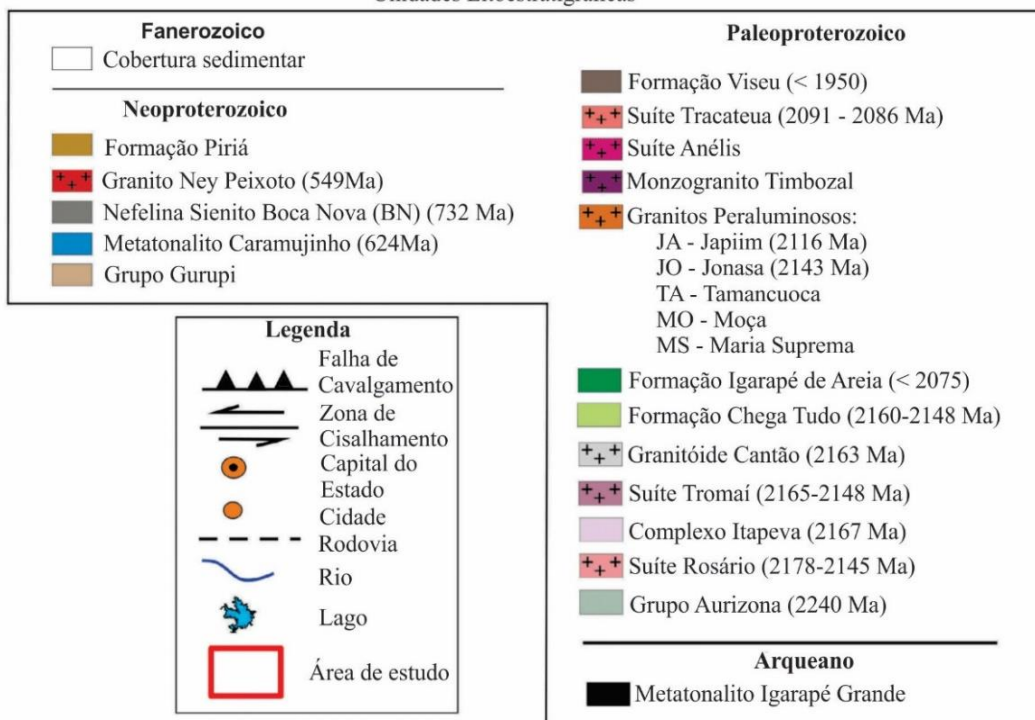


FIGURA 3 - MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO E COLUNA ESTRATIGRÁFICA DO CRÁTON SÃO LUÍS E DO CINTURÃO GURUPI NOS ESTADOS DO PARÁ E MARANHÃO, DESTACANDO A SUDESTE A REGIÃO DE OCORRÊNCIA DA SUÍTE ROSÁRIO. FONTE: ADAPTADO DE GORAYEB ET AL. (1999), VASQUEZ & ROSA COSTA (2008), SOUSA ET AL. (2012), KLEIN ET AL. (2012) E NOGUEIRA ET AL. (2017).

De acordo com a proposta litoestatigráfica (figura 4) elaborada por Klein *et al.* (2005a), somada a dados geocronológicos de Gorayeb *et al.* (1999) e Nogueira *et al.* (2017) para o Cráton São Luís, com base em datações de zircão, são reconhecidos:

- Suíte Intrusiva Tracateua: composta sienogranitos e monzogranitos originados a partir do retrabalhamento de crosta paleoproterozoica e arqueana e idade de 2091-2086 Ma (Palheta 2001);
- Suíte Intrusiva Tromaí: são batólitos compostos por tonalitos, com trondhjemitos, granodioritos e monzogranitos subordinados, no qual se tem uma idade de posicionamento que varia entre 2168 Ma a 2147 Ma (Klein 2004), e se individualizam em plútons como os tonalitos Cândido Mendes e Itomoraí, além de diversos outros granitoides (Gorayeb *et al.* 1999);
- Suíte Intrusiva Rosário: definida como Suíte Subvulcânica Rosário e renomeada para Suíte Intrusiva Rosário por Gorayeb *et al.* (1999) compreende um batólito proveniente de um extenso magmatismo de afinidade cálcico-alcálica e características de granito tipo I. As datações Pb-Pb em zircão concentram-se entre 2,08 e 2,13 Ga, relacionando a época de colocação desses granitoides com o Paleoproterozoico (Gorayeb *et al.* 1999). No entanto, datações mais recentes utilizando o método U-Pb em zircão definiram como período de colocação desses granitoides entre 2178-2145 Ma (Nogueira *et al.* 2017).
- Grupo Aurizona: reúne rochas metavulcanossedimentares de fácies xisto-verde a anfíbolito com idade máxima do vulcanismo associado de 2240 Ma (Klein & Moura 2001), essa sequência é intrudida por granitoides da Suíte Intrusiva Tromaí e pelo Granito Areal.

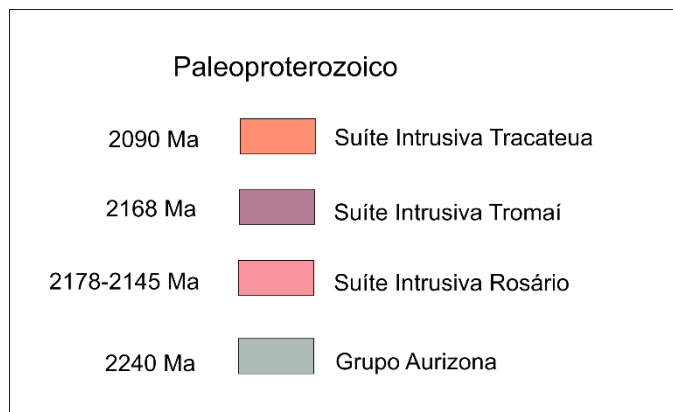


FIGURA - 4 COLUNA CRONOESTRATIGRÁFICA SIMPLIFICADA DO CRÁTON SÃO LUIZ, EXEMPLIFICANDO A ESTRATIGRAFIA DO CRÁTON A PARTIR DE DADOS RETIRADOS DE (KLEIN 2004), KLEIN *ET AL.* (2005).

O Cráton São Luís possui extensão de aproximadamente 400 Km na direção leste-oeste e 120 Km na direção norte-sul. No limite oeste do cráton estão expostos os granitoides da Suíte Intrusiva Tracateua e o seu limite leste não foi exatamente estabelecido devido a vasta cobertura fanerozoica. Neves (1975) sugere estender este segmento até a região Noroeste do estado do Ceará, à noroeste da Província Borborema. A sul-sudoeste o cráton é delimitado pela Zona de Cisalhamento Tentugal, compreendendo uma zona de cisalhamento transcorrente sinistral de direção NW-SE. Esse limite é caracterizado pela gradação de tonalitos indeformados ou levemente foliados para rochas com textura milonítica (Klein 2004).

De maneira geral, as rochas do cráton não possuem orientação marcante e seus traços estruturais estão orientados de maneiras variadas. Dentre os principais elementos estruturais identificados estão a foliação metamórfica regional, características das sequências metavulcanossedimentares e secundariamente nos granitoides, zonas de cisalhamento de pequeno porte e fraturas (Klein 2004). Tais zonas de cisalhamento apresentam caráter rúptil-dúctil ou dúctil e são responsáveis pelas foliações miloníticas de atitudes variáveis (Klein 2004).

As rochas do Cráton São Luís colidiram em aproximadamente 2100-2080 Ma com um continente arqueano vestigial, resultando na geração de granitoides peraluminosos, gnaissificação e migmatização. Essa porção colisional é parcialmente representada pelas rochas que constituem o Cinturão Gurupi (figura 5) (Klein *et al.*

2005). As configurações atuais do cinturão foram moldadas a partir de uma fusão crustal localizada, originada a partir de um evento orogênico ocorrido no final do Neoproterozoico (580-550 Ma?) (Palheta 2001, Klein 2004, Klein 2005).

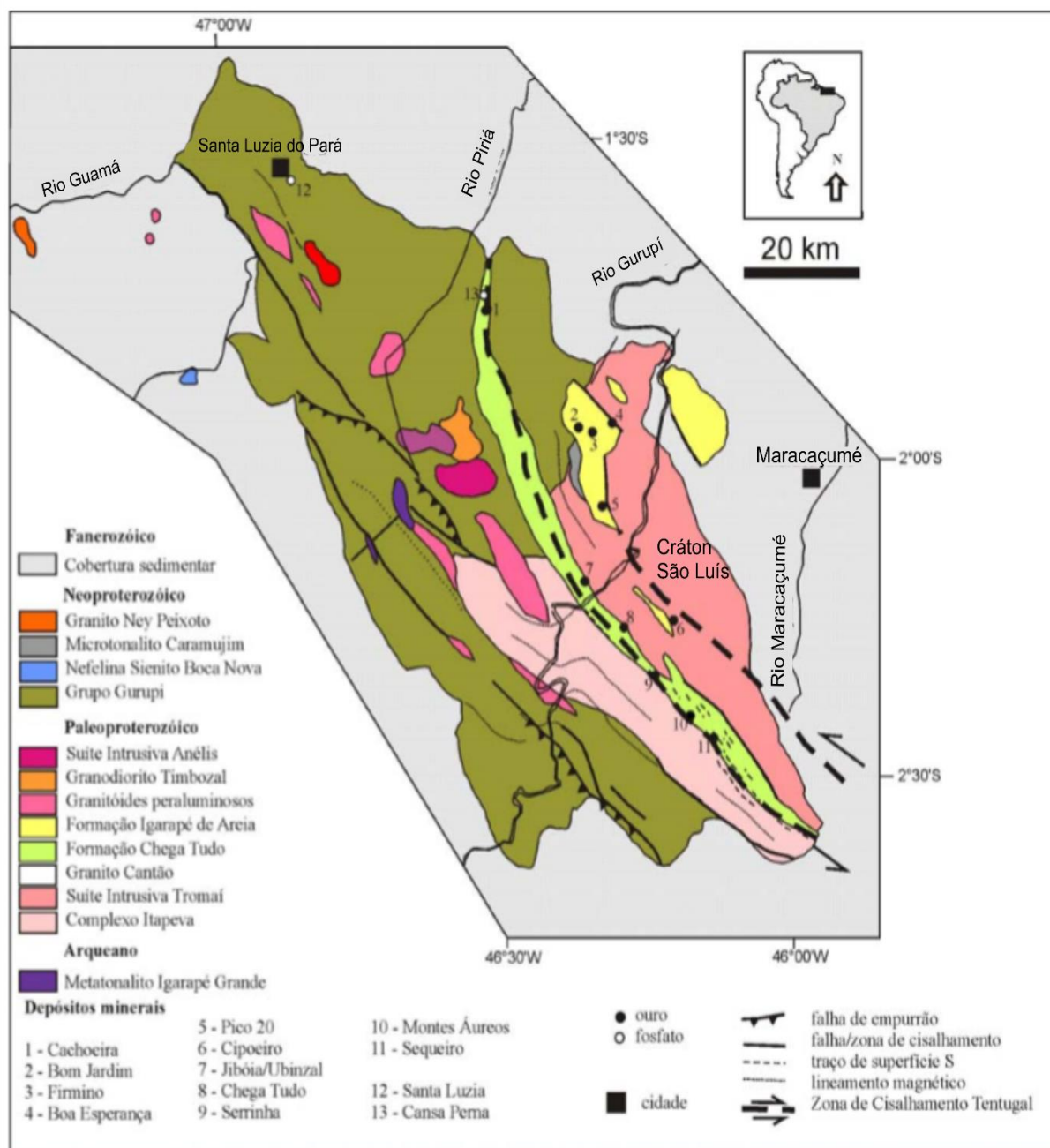


FIGURA 5 - MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DA REGIÃO DO CINTURÃO GURUPI E PARTE DO CRÁTON SÃO LUÍS. RETIRADO DE KLEIN (2004).

## 4.2 CINTURÃO GURUPI

O Cinturão Gurupi é um orógeno de idade neoproterozoica com orientação NNW-SSE que se desenvolveu na borda sul-sudoeste do Cráton São Luís (Klein *et al.* 2005). É composto por sucessões metassedimentares e metavulcanossedimentares, gnaisses, além de outras rochas de origem plutônicas. Essas rochas representam fragmentos retrabalhados da borda cratônica e porções do embasamento sobre o qual se ergueu o cinturão durante o neoproterozoico. Grande parte dos conjuntos litológicos que compõem o cinturão possuem corpos com geometria alongada paralelamente as grandes estruturas nas rochas. Sua área aflorante possui aproximadamente 160 Km de extensão longitudinal e 50 km de largura, sendo seus limites não totalmente conhecidos devido a vasta cobertura fanerozoica na região (Klein *et al.* 2005).

O Cinturão Gurupi é litoestratigraficamente composto, de acordo com Klein *et al.* (2005) e Klein (2004) (Figura 6), pelas seguintes unidades: Metatonalito Igarapé Grande, Complexo Itapeva, Formação Chega Tudo, Granito Cantão, Granito Maria Suprema, Granito Japiim, Granito Jonasa, Granito Ourém, Grupo Gurupi que é uma sequência supracrustal de maior importância cartográfica dentro de uma faixa orientada NW-SE, Nefelina Sienito Gnaiss Boca Nova e Granito Ney Peixoto.

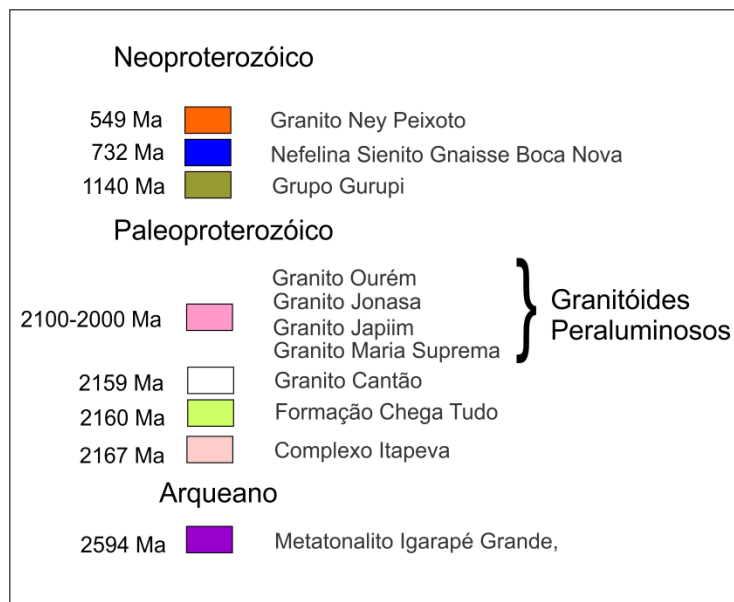


FIGURA 6 - COLUNA CRONOESTRATIGRÁFICA SIMPLIFICADA DO CINTURÃO GURUPI DENOTANDO A ESTRATIGRAFIA COM AS PRINCIPAIS UNIDADES DA REGIÃO E CONFECCIONADA A PARTIR DE DADOS RETIRADOS DE PALHETA (2001), KLEIN (2004), KLEIN *ET AL.* (2005).

Essa região possui um embasamento gnáissico-migmatítico denominado Complexo Maracaçumé (Abreu *et al.* 1980, Pastana 1995), composto por rochas mais deformadas e posicionado no Arqueano (Abreu *et al.* 1980, Hasui *et al.* 1984, Pastana 1995 *apud* Gorayeb *et al.* 1999). Os litotípos descritos nessa unidade são tonalitos, trondjhemitos, granodioritos e anfibolitos, dessa forma é bem semelhante as rochas descritas na Suíte Tromai. Tomando a semelhança como base foi possível levantar a hipótese de que o Complexo Maracaçumé e a Suíte Tromai fariam parte da mesma unidade litoestratigráfica, diferenciadas por uma maior intensidade de deformação devido as zonas de cisalhamento nas rochas do complexo (Gorayeb *et al.* 1999).

#### 4.3 SUÍTE ROSÁRIO

A Suíte Rosário (figura 7) corresponde a um batólito formado por um conjunto de plútons com idades paleoproterozoicas (2.08-2.17 Ga), sendo correlacionado ao magmatismo que gerou a Suíte Tromai. Possui composição tonalítica e granodiorítica mais frequentes e quartzo-diorítica, monzogranítica e leucogranitos menos abundantes na região. Trata-se de um extenso magmatismo de afinidade cálcio-alcalina e características de granitos tipo I (figura 8). No geral, compreendem rochas plutônicas de granulação grossa com texturas originais granulares hipidiomórficas parcialmente preservadas. As rochas da Suíte Rosário ocorrem em uma janela tectono-erosiva com cerca de 400 km de extensão e encontram-se afetadas por zonas de cisalhamento que lhes caracterizaram um metamorfismo hidrotermal em condições de fácies xisto-verde. Essas transformações estariam situadas no mesmo contexto dos processos termotectônicos no Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará, no oeste da Província Borborema (Gorayeb *et al.* 1999, Nogueira *et al.* 2017).

As idades obtidas para a Suíte Rosário são muito próximas das idades dos conjuntos de granitoides que afloram em todo o Cráton São Luís e Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará. Essas idades são semelhantes as idades obtidas na Província Birrimiana do Cráton Oeste Africano, correspondendo à orogênese

Ebumeana, sendo essa correlacionável com o evento termo-tectônico transamazônico. Havendo, portanto, uma correlação entre os dois crátons (Gorayeb *et al.* 1999).

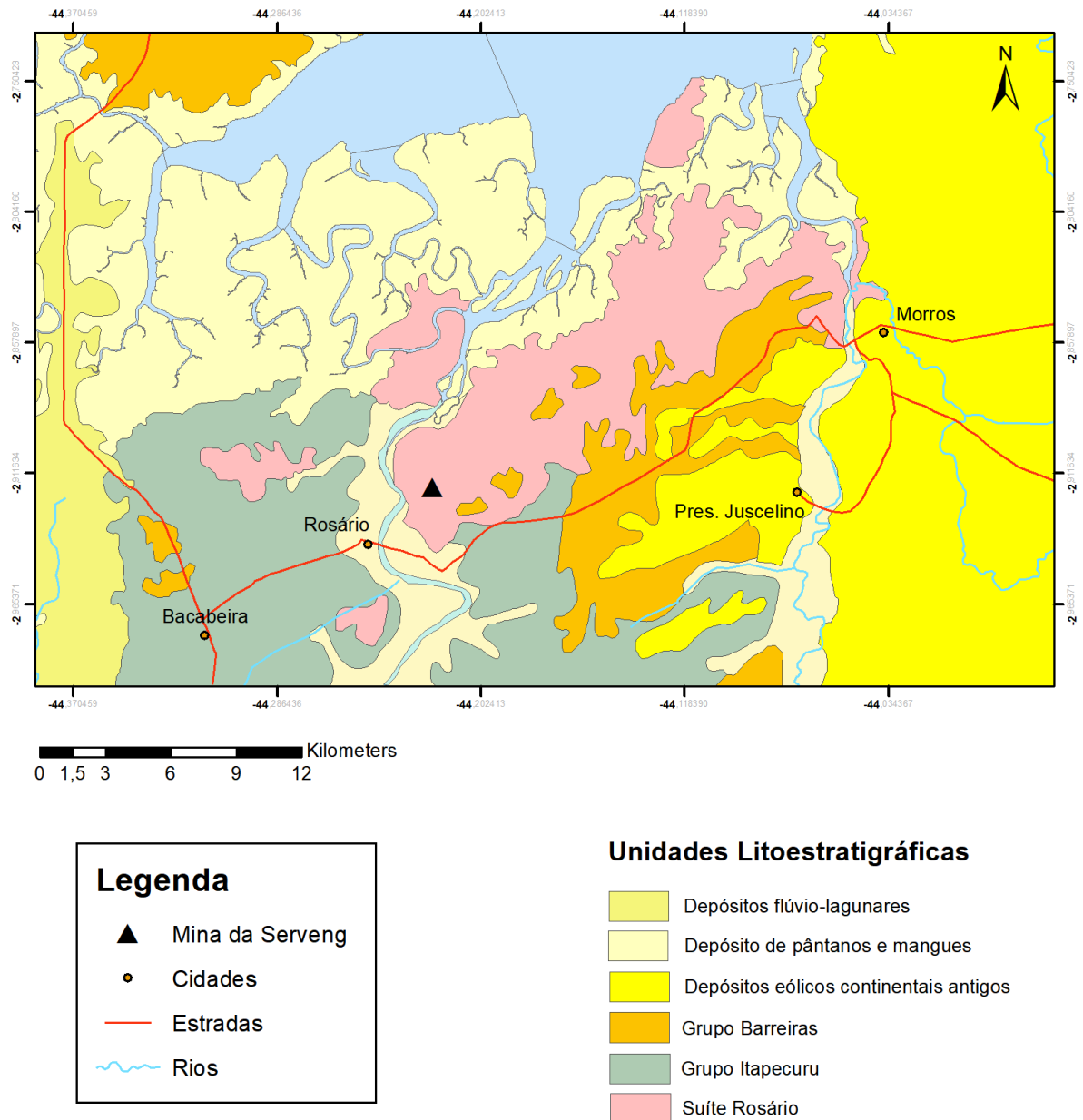


FIGURA 7 - MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DA PORÇÃO DO CRÁTON SÃO LUÍS ONDE SE LOCALIZA A SUÍTE ROSÁRIO ALÉM DE OUTRAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS. ESTÁ DESTACADO A LOCALIZAÇÃO DA MINA DA SERVENG, LOCAL ONDE AS AMOSTRAS DESTA TRABALHO FORAM COLETADAS.

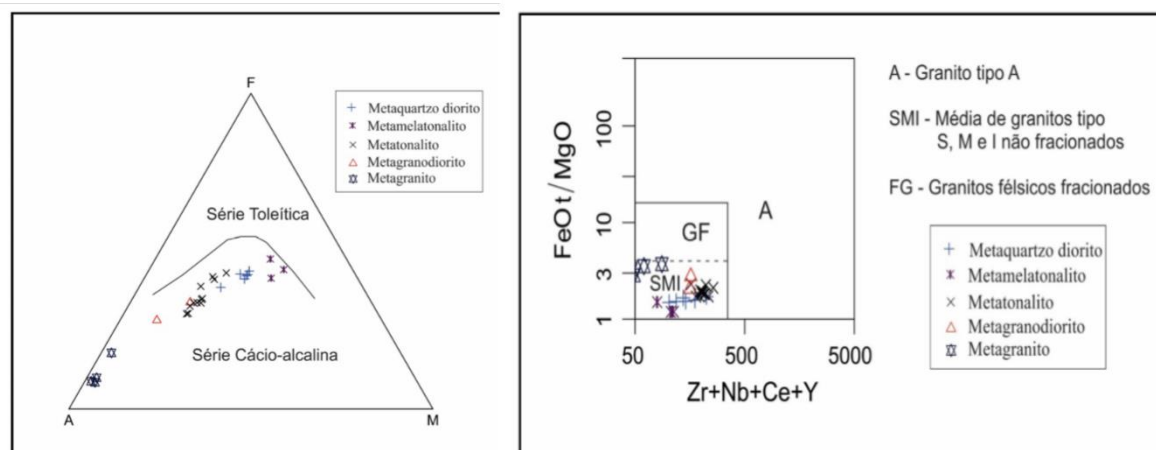


FIGURA 8 - À ESQUERDA REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ANÁLISES FEITAS POR NOGUEIRA (2015) PARA OS GRANITOIDES DA SUÍTE ROSÁRIO DETERMINANDO AFINIDADE CÁLCIO-ALCALINA. À DIREITA DIAGRAMA GEOQUÍMICO DE TIPOLOGIA DE GRANITOIDE:  $Zr+Nb+Ce+Y$  VERSUS  $FeOt/MgO$ , WHALEN ET AL. (1987), RETIRADOS DE NOGUEIRA (2015).

Gorayeb *et al.* (1999) classificaram as rochas da suíte em três principais litologias: metatonalitos, matagranodioritos e matagranitos.

- Os metatonalitos foram descritos como rochas leucocráticas de cor cinza esverdeado nos quais mantém os aspectos texturais originais preservados. Possuem textura granular hipidiomórfica que é localmente superposta por uma trama milonítica próximo as zonas de cisalhamento. O grande número de veios leucotonalíticos e pegmatíticos que cortam as rochas tonalíticas podem estar relacionados geneticamente com os granodioritos adjacentes diferenciadas tardiamente na evolução da suíte;
- Os metagranodioritos são equigranulares, leucocráticas de granulação grossa, apresentam coloração verde a rosa claro, devido a saussurotização do plagioclásio, e de aspectos texturais semelhantes ao dos metatonalitos;
- Os metagranitos são rochas de granulação grossa nas quais não possuem registros significantes de deformação, no entanto há transformação nos cristais de plagioclásio, no qual se apresentam levemente esverdeados e substituídos por epídoto e serecita.

Os estudos geocronológicos realizados nesses litotipos por Gorayeb *et al.* (1999) utilizando o método de Pb-Pb em monocristais de zircão obteve idades médias variando entre  $2.079 \pm 48$  Ma e  $2.139 \pm 22$  Ma para os metatonalitos;  $2.129 \pm 11$  Ma e  $2.136 \pm 14$  Ma para os metagranodioritos e  $2.112 \pm 32$  Ma para os metagranitos. Levando em

consideração que essas rochas foram afetadas apenas por um metamorfismo de baixo grau, essas idades foram interpretadas como as idades de colocação do conjunto de rochas plutônicas que constituem a Suíte Rosário.

As datações realizadas por Nogueira *et al.* (2017) através do método U-Pb em zircão sugerem que as rochas plutônicas da Suíte Rosário foram colocadas durante um único episódio entre 2.155 e 2.175 Ma, representando um importante evento de formação de crosta paleoproterozoica durante o período Riacciano. Essas idades relativamente mais antigas decorrem do diferente método de datação utilizado.

Estudos geoquímicos demonstraram uma sistemática variação entre os elementos maiores, menores e traços nessas rochas. No entanto todos os granitoides apresentam configurações compatíveis com ambientes de arco, sendo relacionados a ambientes de subducção de arcos magmáticos continentais (figura 2) (Nogueira *et al.* 2017) bem como os granitoides da Província Birrimiana do oeste africano. Além disso, os intervalos de idades datados na Suíte Rosário são compatíveis com o Cráton Oeste Africano, admitindo uma relação com o Cráton São Luís.

Tanto em termos geocronológicos quanto litológicos essas rochas apresentam semelhanças com granitoides que afloram na região noroeste do Ceará e na região do Gurupi, sendo diferenciadas principalmente pelo grau metamórfico e estruturação. Enquanto que no Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará as condições metamórficas atingiram fácies anfíbolito alto e granulito e possui *trend* predominantemente NE-SW, na região do Gurupi as condições metamórficas não ultrapassaram fácies anfíbolito médio, e o *trend* regional possui direção NW-SE. Diferentemente do que ocorre na região de Rosário, onde as condições metamórficas alcançaram apenas a fácies xisto-verde relacionados a zonas de cisalhamento transcorrentes de direção NE-SW (Gorayeb & Abreu 1996, Gorayeb *et al.* 1999).

#### 4.3.1 GEOLOGIA ESTRUTURAL E PROCESSOS TERMO-TECTÔNICOS

Além da significativa presença de juntas e falhas, as transformações texturais-estruturais e/ou mineralógicas nas rochas da Suíte Rosário são resultantes de uma tectônica de cisalhamento que afetou o oeste da Província Borborema, conforme foi registrado nos granitos Pedra do Sal (Gama Jr. *et al.*, 1988) e Chaval (Gorayeb *et al.*,

1995). Essas transformações são marcadas por uma imbricação e leve estiramento dos minerais primários (quartzo, plagioclásio e hornblenda), desenvolvendo assim uma leve foliação nas rochas, sem destruir a textura ígnea original e preservando a história plutônica delas. Entretanto tais feições se tornam significativamente mais evidentes nas proximidades de zonas e bandas de cisalhamento (Gorayeb *et al.* 1999, Nogueira *et al.* 2017).

Há na região ocorrência de bandas e zonas de cisalhamento com movimentação sinistral e com larguras variando de centimétricas a decimétricas, desenvolvendo milonitos e ultramilonitos com matriz cominuída composta de epídotos, sericitas e carbonatos provenientes da substituição de plagioclásios, além de agregados de minerais máficos. Foram formados nessas rochas variedades de minerais hidratados provenientes de processos termo-tectônicos de cisalhamento bem como a recristalização de outros a partir das associações minerais primárias (Gorayeb *et al.* 1999).

Alguns minerais como quartzo, plagioclásio e hornblenda se comportaram de maneiras diferentes em relação à deformação cisalhante. O plagioclásio e o quartzo apresentam um comportamento dúctil com estiramento e recristalização, enquanto as hornblendas não encontram-se deformadas porém apresentam transformações para tremolita-actinolita (Gorayeb *et al.* 1999).

## 5 EXPLORAÇÃO DE GRANITÓIDES PARA FABRICAÇÃO DE BRITA

### 5.1 EXPLORAÇÃO, PRODUÇÃO E MÉTODOS DE LAVRA

Basicamente qualquer rocha maciça pode ser empregada na produção de britas e suas características principais como, composição mineral, textura, fraturas e clivagens podem afetar na qualidade final do produto (DNPM 2018). No geral, as principais rochas utilizadas na fabricação desse material são as rochas plutônicas, seguido por rochas vulcânicas e calcáreas (DNPM 2018).

De acordo com a Agência Nacional de Mineração – ANM (anteriormente DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral), o termo brita é empregado para definir pequenos grânulos de rocha dura, dispostos em faixas de tamanho controladas e que são obtidos por processos de tratamento nas usinas de britagem (DNPM 2018). Nas usinas, o material explorado é submetido a diversos processos de fragmentação mecânica e peneiramento, onde a rocha é reduzida ao tamanho ideal (DNPM 2018).

A exploração de brita é feita por meio de lavra a céu aberto, devido questões econômicas e/ou geologia favorável, em meio a encosta ou cava, com a definição do método adotado variando de acordo com as condições geomecânicas e geográficas do maciço rochoso. O processo de exploração inicia-se com a limpeza e o decapeamento da área, retirando assim todo material estéril e vegetação. Seguindo-se do desmonte primário, com perfuração e carregamento dos furos com explosivos e posteriormente o desmonte secundário, utilizando fogacho e rompedores hidráulicos (Silva 2005). Os fragmentos rochosos são transportados por caminhões até os locais de britagem ou diretamente para os britadores, onde serão realizadas as britagens primária e secundária para a obtenção de diferentes granulometrias, classificadas de acordo com as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) em “agregado miúdo” (entre 150  $\mu$ m e 9,5 mm) e “agregado graúdo” (entre 2,36 mm e 75 mm) (a ABNT considera outras propriedades físicas para a classificação entre agregados graúdos e miúdos, o que possibilita que britas de mesma granulometria possam ser classificadas como graúdas ou miúdas) (ABNT 2005) (Silva 2005).

Dados do DNPM de 2015 relatam um total de 996 usinas de britagem instaladas no Brasil com registro de produção concentradas majoritariamente nas regiões sul e

sudeste (figura 9). A produção nacional de brita no ano de 2015 atingiu a marca de 212.749.004 toneladas (figura 10) (DNPM 2018). A rocha britada corresponde ao segundo item mais expressivo da produção mineral brasileira, ficando atrás apenas do minério de ferro, porém a produção ainda é considerada baixa comparando com outros países mais desenvolvidos (DNPM 2018).

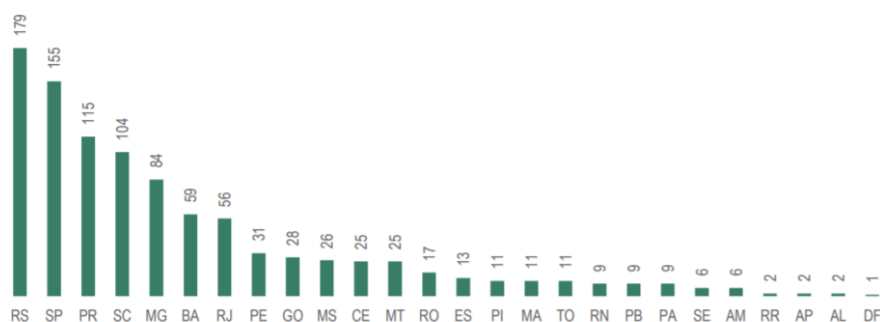


FIGURA 9 - O GRÁFICO MOSTRA O NÚMERO TOTAL DE USINAS DE BRITAGEM POR ESTADOS NO BRASIL EM 2015. NOTA-SE QUE OS ESTADOS DO SUL E SULDESTE DETÊM A MAIOR QUANTIDADE DELAS (FONTE: DNPM 2018).

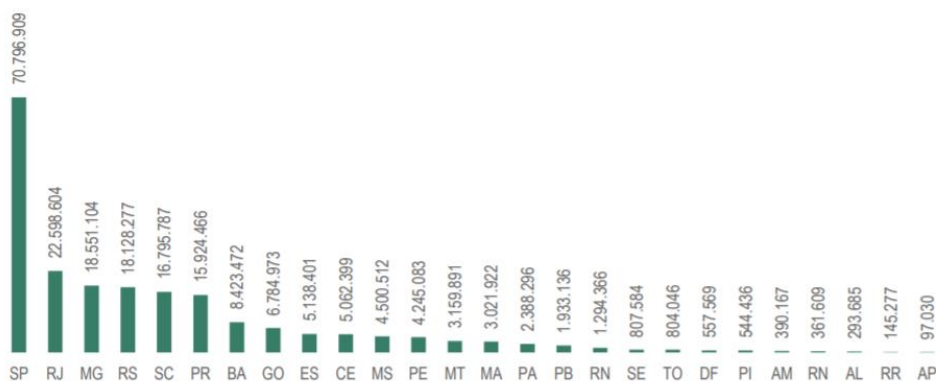


FIGURA 10 - O GRÁFICO MOSTRA A PRODUÇÃO ANUAL DE BRITA POR ESTADO EM TONELADAS. SÃO PAULO FOI O LÍDER EM PRODUÇÃO ENTRE OS ESTADOS BRASILEIRO NO ANO DE 2015 (FONTE: DNPM, 2018).

## 5.2 PRODUÇÃO DE BRITA NO ESTADO DO MARANHÃO

O DNPM (2018) lista sete cidades do Maranhão com registro de produção de brita, sendo elas: Bacabeira, Caxias, Colinas, Estreito, Porto Franco, Rosário e São João dos Patos. A cidade de Rosário, na qual se situa a Suíte Intrusiva Rosário, possui uma

usina de britagem pertencente a Serveng – Civilsan S/A Empresas Associadas de Engenharia, local onde foram coletadas as amostras estudadas neste trabalho. Ainda de acordo com o DNPM (atualmente ANM) no ano de 2015, o estado obteve 3.021.992 toneladas de brita produzidas. Dados do DNPM de março de 2014 apontaram oitenta novas concessões de lavra, sendo cinco delas estão localizadas na cidade de Rosário para produção de brita.

### 5.3 UTILIZAÇÃO

A utilização deste bem mineral está fortemente associado a construção civil, dependendo do seu tamanho e granulometria a brita terá diferentes utilizações (quadro 1). Maior parte de sua aplicabilidade está na produção de concreto, sub-base para obras de pavimentação, produção de asfalto e obras de contenção (Silva 2005).

Areia Artificial e Areia Natural	Assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, embolso, podendo entrar na composição de concreto e asfalto.
Pedrisco	Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamentos em geral.
Brita 1	Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes, edificações e grandes lajes
Brita 2	Fabricação de concreto que exija maior resistência, principalmente em formas pesadas
Brita 3	Também denominada pedra de lastro utilizada nas ferrovias.
Brita 4	Produto destinado a obras de drenagem, como drenos sépticos e fossas.
Rachão, pedra de mão ou pedra marroada	Fabricação de gabiões, muros de contenção e bases.
Brita graduada	Em base e sub-base, pisos, pátios, galpões e estradas.

QUADRO 1 - DIFERENTES UTILIZAÇÕES DA BRITA DE ACORDO COM SUA GRANULOMETRIA (FONTE: SILVA 2015).

### 5.4 IMPACTOS AMBIENTAIS

Os impactos ambientais associados a este tipo de atividade mineradora estão associados às diversas fases de exploração (Bacci *et al.* 2006). O desmatamento inicial para abertura da cava, retirando assim a vegetação, movimentação de terra e modificação

da paisagem local, o uso de explosivos no desmonte, ocasionando sobrepressão atmosférica, vibração do terreno, ultralancamento de fragmentos, gases, poeira, ruídos. As tabelas 1 e 2, retiradas de Bacci *et al.* (2006) listam os principais impactos ambientais das atividades relacionadas a produção de britas, decorrentes tanto da atividade de lavra quanto do beneficiamento.

TABELA 1 - IMPACTOS RELACIONADO A EXPLORAÇÃO DE ROCHAS EM FRENTE DE LAVRA PARA A PRODUÇÃO DE BRITA (FONTE: BACCI ET AL. 2006).

ATIVIDADES	ASPECTOS	IMPACTOS
Decapeamento, envolvendo remoção da cobertura superficial, deterioração da cobertura vegetal e a formação de pilhas de solo	Erosão , movimentação de terra e assoreamento de córregos, alteração da paisagem, flora e fauna locais	Esgotamento de recurso natural
		Afugento da fauna
		Modificação e destruição da vegetação nativa
Perfuração das bancadas	Geração de ruído e poeira	Poluição sonora
		Perturbação das vizinhanças e exposição ocupacional dos trabalhadores
Carregamento dos furos com explosivos	Utilização de equipamento de proteção (máscara, luvas, botas, protetor de ouvidos)	Diminuição dos riscos de acidentes e da exposição ocupacional dos trabalhadores
	Possibilidade de acidentes	Explosão, riscos de vida
	Bom conhecimento geológico-estrutural da jazida e da área de exploração	Redução de impactos ambientais
Desmorte das bancadas com detonação dos explosivos	Treinamento e capacitação dos técnicos	Redução de riscos de acidentes
	Geração e propagação de ondas sísmicas no terreno e no ar (vibração e sobrepressão atmosférica)	Riscos de danos a construções civis, desconforto à população vizinha, riscos de incidentes e de vida
	Ultralancamento de fragmentos	Riscos de danos a construções civis e riscos a vida humana
	Geração de ruído, fumos e gases	Poluição sonora
	Escorregamentos de taludes fora do setor de desmorte	Desconforto à população e riscos de incidentes e intoxicação
	Dimensionamento correto das cargas explosivas e dos parâmetros do plano de fogo (perfuração, carregamento, amarração dos furos, limpeza da face, tempos de retardo, etc)	Riscos de acidentes
Armazenagem de explosivos e acessórios de detonação	Riscos de explosão	Perdas materiais e de vidas, poluição do ar
	Eficiência no armazenamento	Redução de riscos de acidentes
Monitoramento ambiental	Controle dos níveis de poluição respeitando aqueles estabelecidos pelas normas técnicas e legais	Redução das emissões, minimização dos impactos potenciais
Carregamento e transporte do minério até a britagem	Geração de poeira e ruído e emissão de gases	Poluição do ar e sonora; Desconforto aos trabalhadores da mina
	Vazamentos de óleos/combustíveis/graxas	Comprometimento do solo e das águas superficiais

TABELA 2 - PRINCIPAIS IMPACTOS GERADOS E RELACIONADOS A PRODUÇÃO DE BRITA EM USINAS DE BRITAGEM (FONTE: BACCI ET AL. 2006).

ATIVIDADES	ASPECTOS	IMPACTOS
Descarregamento do minério	Geração de poeira e ruído	Poluição do ar e sonora, desconforto aos trabalhadores
Britagem da rocha	Geração de poeira e ruído	Poluição do ar e sonora, riscos de doenças pulmonares e desconforto aos trabalhadores
	Riscos de acidentes	Perdas de vida e materiais
	Consumo de energia	Utilização de recursos naturais
	Vibração dos equipamentos	Perdas de rendimento
Umidificação das correias transportadoras	Consumo de água	Utilização de recursos naturais, eventuais acidentes, redução da suspensão das partículas
Transferência de materiais	Escape/perda de material	Riscos de acidentes, conforme o diâmetro do minério
	Geração de poeira e ruído	Poluição do ar e sonora, desconforto aos trabalhadores
Estocagem do produto	Geração de ruído, poeira e emissão de gases produzidos pelas máquinas	Poluição do ar e sonora, intoxicação por gases
	Perdas de material	Contaminação das águas superficiais e assoreamento de córregos próximos

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 PETROGRAFIA

Os estudos petrográficos envolveram a descrição de três amostras de mão e três lâminas delgadas coletadas na mina a céu aberto da Serveng, localizada na cidade de Rosário (figura 7). Com base nessas amostras foi possível obter informações sobre a mineralogia e textura que auxiliaram na classificação e interpretação de processos magmáticos e metamórficos ocorridos na região.

No geral, as análises petrográficas revelaram que se tratam de rochas maciças, leucocráticas, holocristalinas com granulação predominantemente grossa. Suas cores variam desde um cinza esbranquiçado a rosa com porções cinzas e esverdeado. Suas mineralogias principais são compostas predominantemente por quartzo, plagioclásio, anfibólios e álcali-feldspatos. Enquanto que as fases acessórias correspondem a opacos, titanitas, apatitas, epidotos e zircões.

As amostras LR-01 e LR-03 correspondem a metatonalitos enquanto que a amostra LR-02 corresponde a metaquartzo diorito. Essas rochas foram classificadas de acordo com suas respectivas composições modais utilizando o diagrama de Streckeisen (1976) (figura 11).

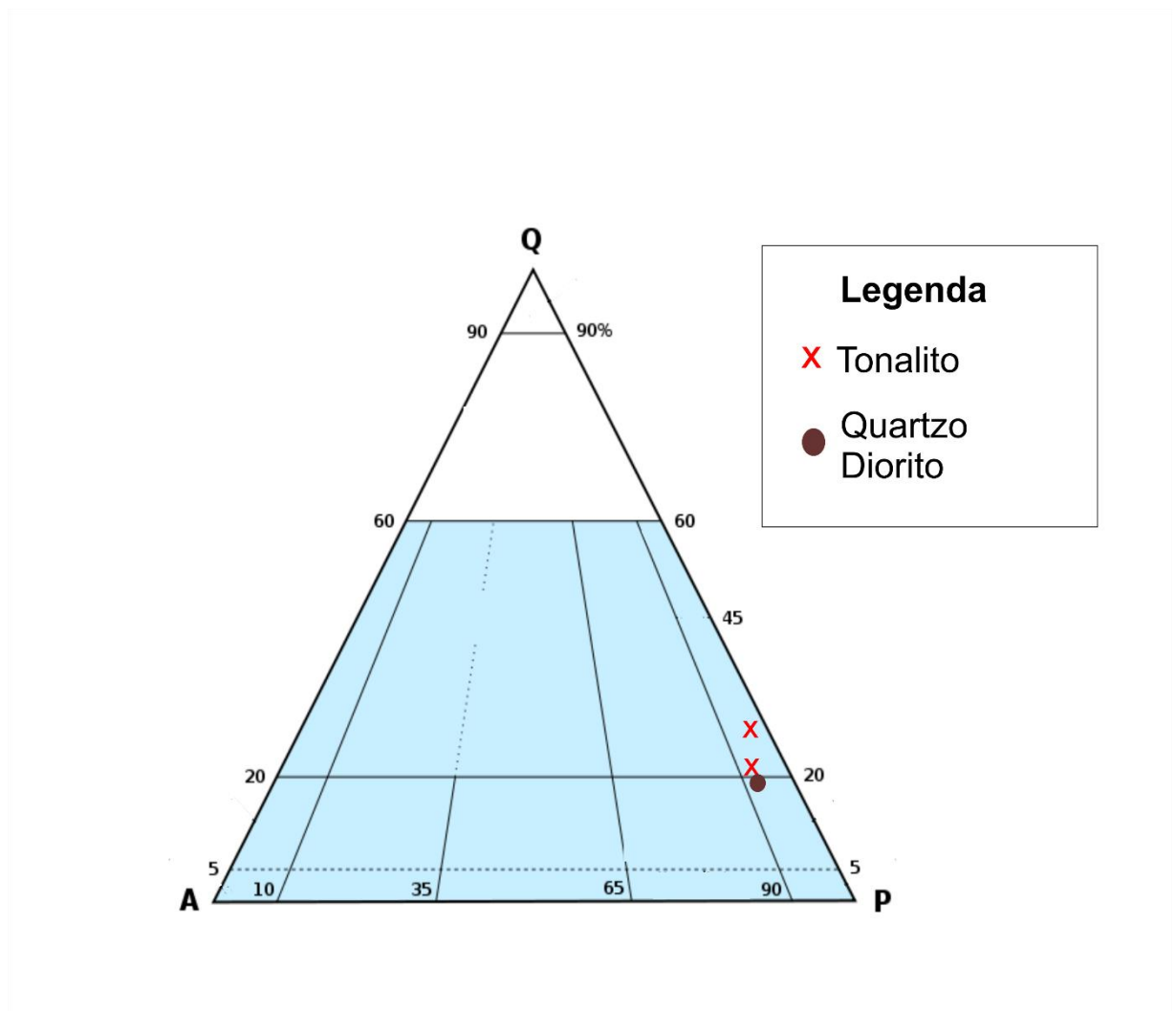


FIGURA 11 - DIAGRAMA Q-A-P (STRECKEISEN 1976) COM A CLASSIFICAÇÃO MODAL DAS AMOSTRAS ANALISADAS DA SUÍTE ROSÁRIO.

### 6.1.1 TONALITO

Essas rochas apresentam tanto uma coloração cinza esbranquiçado com porções esverdeada e cinza escuro com porções rosa. É maciça, leucocrática ( $M' \sim 25$ ), holocristalina, fanerocristalina de granulação grossa e predominantemente equigranular (figura 11).

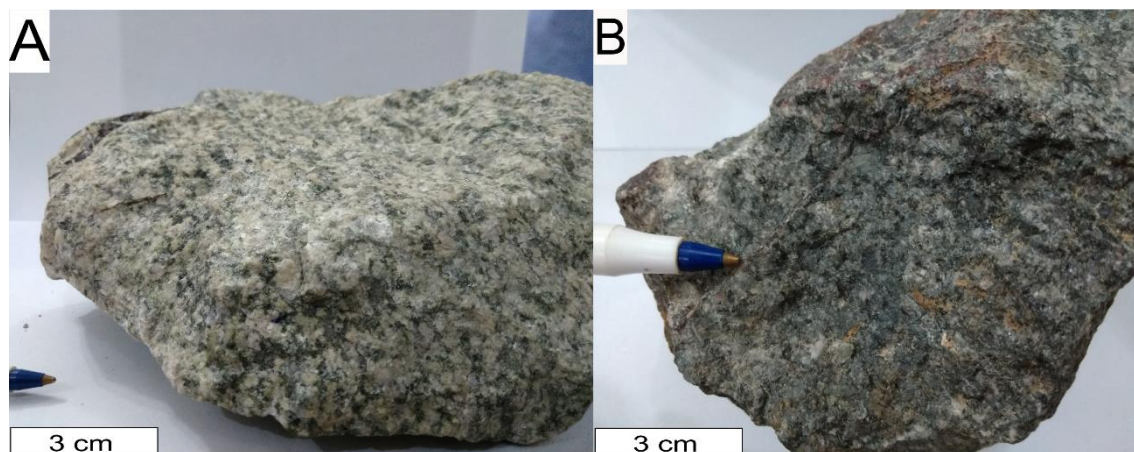


FIGURA 12 - REPRESENTAÇÃO MACROSCÓPICA DA AMOSTRA LR-01 (A) COM COLORAÇÃO EM CINZA MAIS CLARO QUE A AMOSTRA LR-03 (B) A QUAL POSSUI UM TOM DE CINZA MAIS ESCURO. PERCEBE-SE QUE AMBAS SÃO MACIÇAS, COM GRANULAÇÃO GROSSA E EQUIGRANULARES.

A análise microscópica revela que essas rochas apresentam texturas granulares hipidiomórficas, no geral com minerais de hábito prismático e faces subédricas, no entanto não são incomuns minerais com hábitos granulares e faces anédricas. São compostas essencialmente por oligoclásio, anfibólio, quartzo e feldspato potássico enquanto que a titanita, carbonato, apatita, epidoto, zircão e minerais opacos correspondem aos minerais acessórios. Apresentam alterações para epidoto, argilo-mineral, sericita e clorita e possuem fraturas preenchidas por carbonato, epidoto, clorita e quartzo.

O plagioclásio tem sua composição modal de aproximadamente 60%, possui faces subédricas e tamanhos máximos de até 5 mm. Detém hábitos prismáticos, são pouco fraturados e possuem maclas principalmente do tipo albita (figura 13) e menos recorrente ocorrem albita-periclina (figura 14) e carls bad. Foi definido como oligoclásio ( $An^{10}$ ). Estão bastante alterados para sericita e argilo-minerais. Seus contatos são retos e irregulares. Já o feldspato alcalino ocorre de maneira mais discreta. Devido forte alteração para sericita e argilo-minerais a observação de suas propriedades se torna de difícil percepção, estando limitada a observação de algumas maclas pouco preservadas do tipo xadrez, o que os definem como do tipo microclínio. Sua composição modal está aproximadamente entre 3 e 7%.

O anfibólio (figura 15) tem sua composição modal entre 18 a 20%. Possui faces subédricas e anédricas e tamanhos que chegam a no máximo 1,3 mm. Seus hábitos são

prismáticos, o pleocroísmo é fraco e varia de verde claro (X) para verde azulado (Y=Z), exibem maclamento simples. Foi definido como hornblenda. No geral estão poucos fraturados, apresentando bastante alterações principalmente para clorita e subordinadamente para epídoto; ocorrem titanitas granulares associadas e também apresentam inclusões de quartzo e apatitas em alguns cristais. Seus contatos são retos e irregulares com o quartzo e os feldspatos. Além das hornblendas, ocorrem outros tipos de anfibólios que podem estar associados com a alteração hidrotermal deste mineral, a tremolita-actinolita. A tremolita ocorre com hábitos prismáticos e incolor, seu pleocroísmo é muito fraco e varia para amarelo pálido. Comumente apresenta maclamento simples. A actinolita aparentemente ocorre com maior frequência, seus hábitos são prismáticos mais longos, possui coloração verde claro e pleocroísmo variando para incolor.

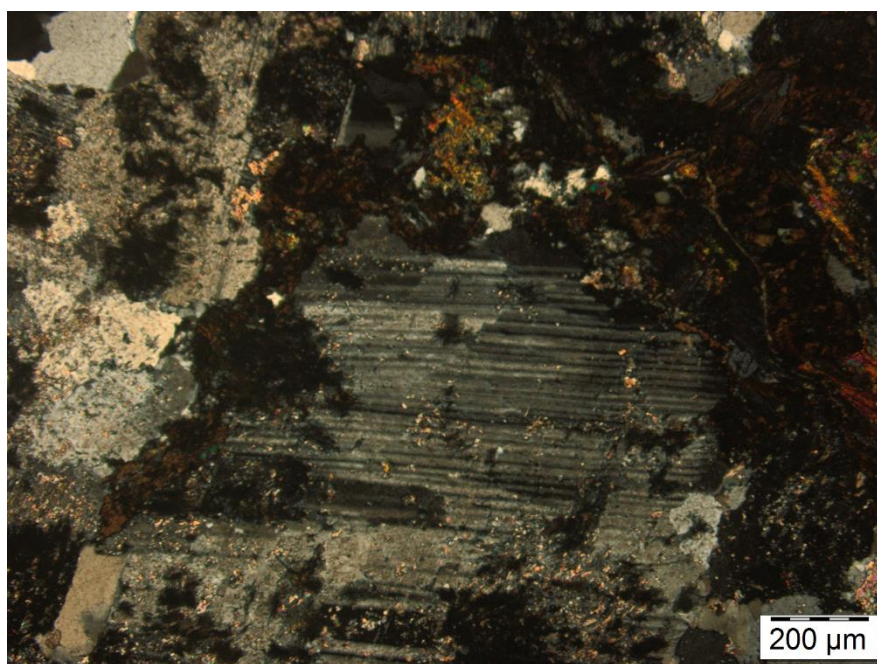


FIGURA 13 - NO CENTRO DA FOTOMICROGRAFIA UM MINERAL DE PLAGIOCLÁSIO À NICÓIS CRUZADOS (NC) REPRESENTATIVO DA ROCHA. PERCEBE-SE SEU HÁBITO PRISMÁTICO COM FACES SUBÉDRICAS E CONTATOS EM SUA MAIORIA RETOS. POSSUI MACLAS DO TIPO PERICLINA, ESTÁ BASTANTE ALTERADO PARA SERICITA.

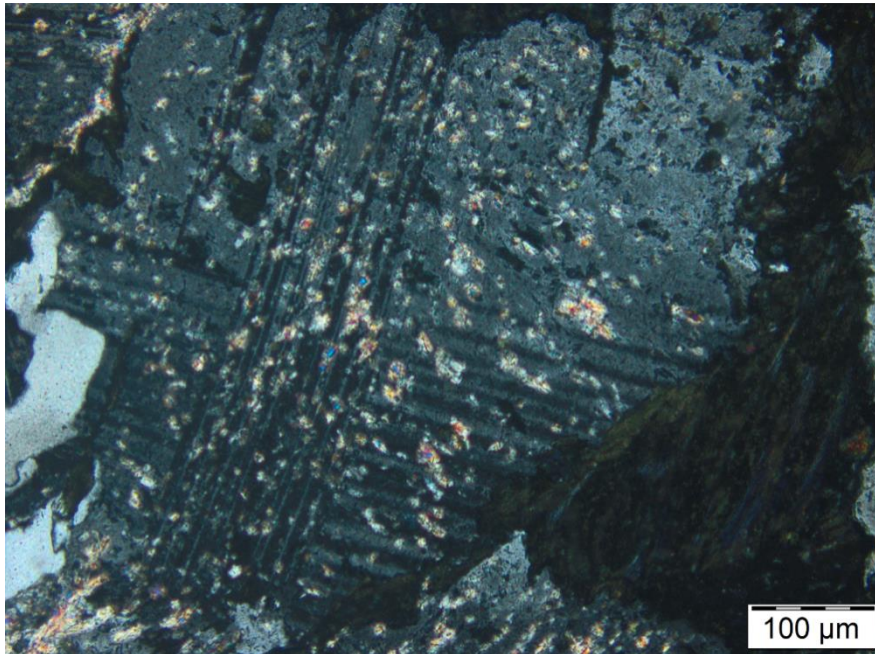


FIGURA 14 - PLAGIOCLÁSIO (NC) COM MACLAS DO TIPO ALBITA-PERICLINA, COM FACES SUBÉDRICAS E ALTERADO PARA SERICITA, EM CONTATO RETO COM O PLAGIOCLÁSIO ESTÁ PRESENTE UM CRISTAL DE ANFIBÓLIO ALTERADO PARA CLORITA.

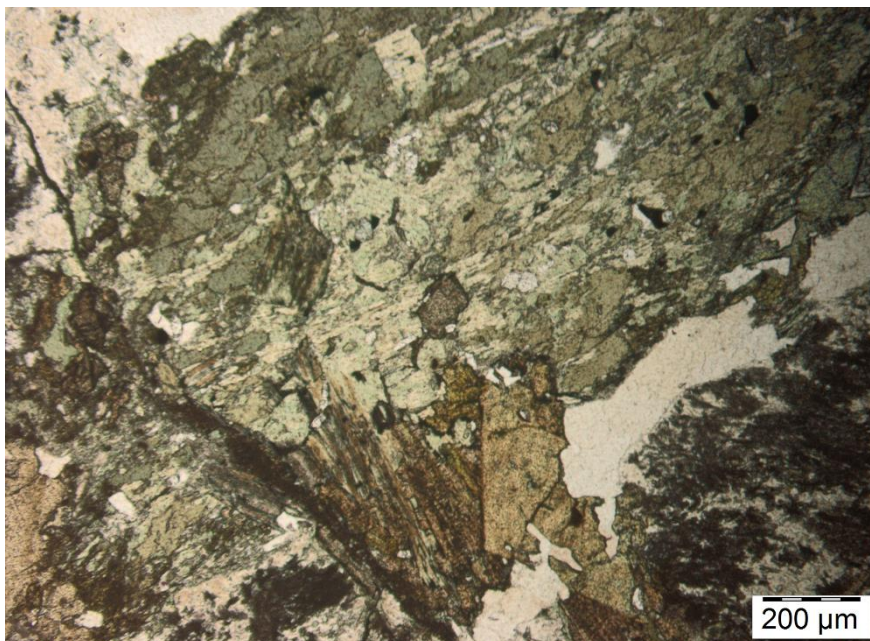


FIGURA 15 - ANFIBÓLIOS À LUZ NATURAL (LN). PERCEBE-SE QUE AINDA PRESERVAM HÁBITOS PRISMÁTICOS, MESMO QUE NA MAIORIA DAS VEZES SUAS FACES ESTEJAM BASTANTE IRREGULARES. ESTÃO ALTERADOS PARA CLORITA, ARGILO-MINERAL, EPÍDOTO E TREMOLITA-ACTINLITA SUBORDINADAMENTE.

O quartzo apresenta faces anédricas a subédricas (figura 16 e 17) e tamanhos de até 3 mm. Sua composição modal varia entre 17 e 20%. Seus hábitos são granulares, por vezes prismáticos, havendo extinção ondulante e migração do limite de grão decorrente da deformação, além de um leve estiramento em uma direção preferencial. Estão pouco fraturados e possuem contatos retos e irregulares. Ocorrem grãos menores decorrentes da cominuição do mineral.

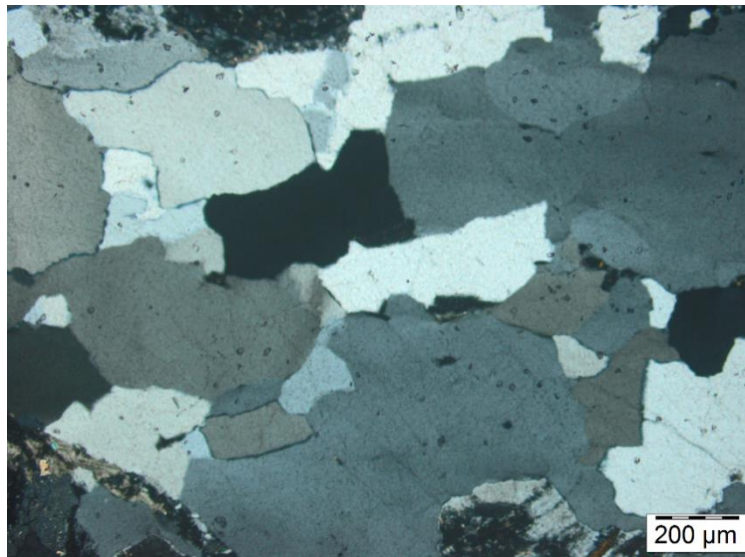


FIGURA 16 - CRISTAIS DE QUARTZO À NICÓIS CRUZADOS (NC). É POSSÍVEL PERCEBER SEUS HÁBITOS PRISMÁTICOS E GRANULARES, SUAS FACES MAJORITARIAMENTE SUBÉRICAS, UM LEVE ESTIRAMENTO E MIGRAÇÃO DO LIMITE DE GRÃO.

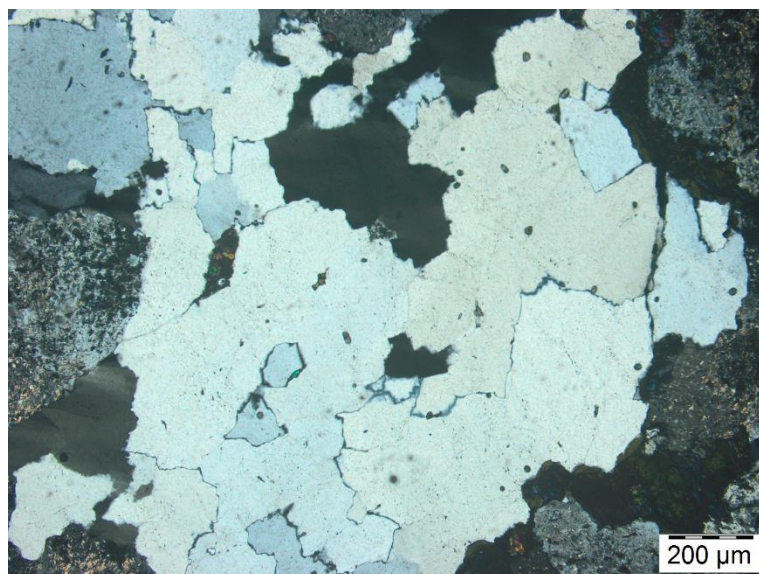


FIGURA 17 - CRISTAIS DE QUARTZO (NC) COM FACES ANÉDRICAS E CONTATOS IRREGULARES.

Os minerais acessórios correspondem a titanita, carbonato, apatita e zircão. Esses estão normalmente associados a outros minerais ou até mesmo inclusos dentro deles. A titanita ocorre como finos grãos anédricos com tamanho médio de 0,3 mm formando agregados cristalinos e está associado normalmente aos anfibólios. Possuem

coloração marrom claro e se destacam pelo relevo muito alto. O carbonato ocorre associados ao plagioclásio e preenchendo fraturas. Já a apatita se apresenta como finos grãos aciculares de faces euédricas com tamanhos médios de 0,03mm. O zircão está presente como mineral de faces anédricas e hábitos granulares.

### 6.1.2 QUARTZO DIORITO

Rocha de coloração rosa com porções esverdeadas, maciça, leucocrática ( $M'=20$ ), holocristalina, fanerocristalina de granulação grossa e predominantemente equigranular (figura 18).

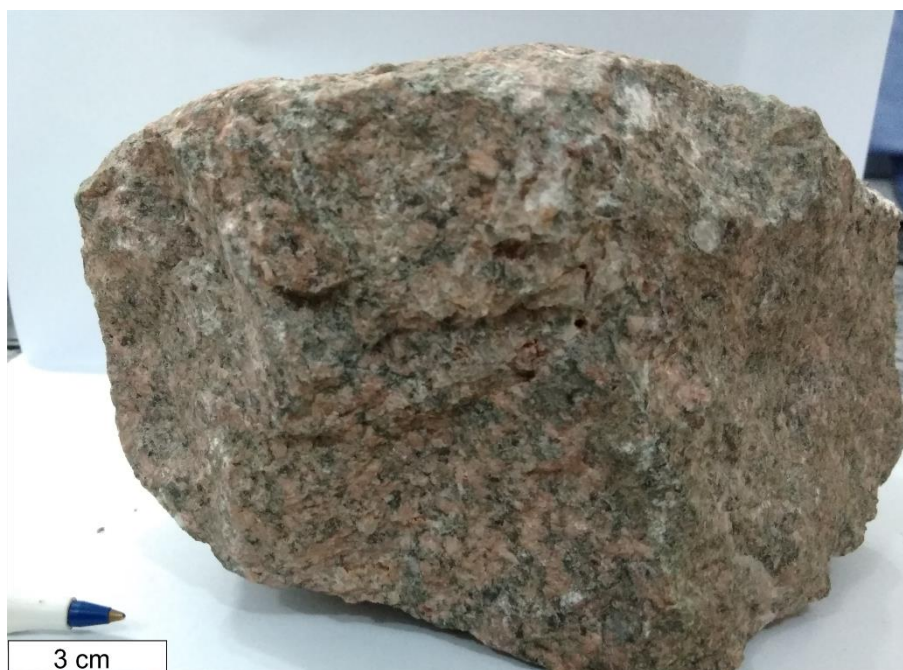


FIGURA 18 - AMOSTRA LR-02 DE MÃO. ALÉM DA COLORAÇÃO ROSA, A ROCHA APRESENTA PORÇÕES ESVERDEADAS DECORRENTE DA ALTERAÇÃO PARA CLORITA.

De acordo com a análise microscópica a rocha apresenta textura granular hipidiomórfica, no geral com minerais de hábito prismático com faces subédricas. Sua mineralogia essencial é composta por plagioclásio, quartzo, anfibólio e feldspato potássico. Enquanto que os minerais opacos, o zircão, apatita e titanita ocorrem como minerais acessórios. A sercicita, argilo-minerais, o epídoto, clorita e o carbonato surgem como fases de alteração, que também ocorrem preenchendo fraturas.

O plagioclásio possui faces majoritariamente subédricas (figura 19), tamanhos variam de 0,3 a 4,5 mm e proporção modal em torno de 60 a 65% aproximadamente. Seus hábitos são prismáticos, no entanto são comuns plagioclásios com hábitos granulares e faces anédricas. Estão pouco fraturados e possuem maclamento principal do tipo albita (figura 19) e subordinadamente maclas do tipo albita-periclina (figura 20); albita-carls bad e calrs bad (figura 21) são mais raros. Estão fortemente alterados para sericita e argilo-minerais, ocorrendo também alteração para carbonato e epidoto (figura 22). Processo de saussuritização (figura 23) é bastante recorrente na rocha, evidenciada pela alteração do plagioclásio para epidoto. Possuem contatos retos e levemente irregulares com o quartzo, por vezes apresentando contatos penetrativos com esse mesmo mineral. O feldspato potássico ocorre em menores proporções, entre 2 a 5%. A forte alteração sofrida pelos feldspatos nessa rocha o torna de difícil percepção. Possuem faces subédricas e tamanhos de até 7 mm. Não é possível observar as maclas, essas foram cobertas pela alteração, que ocorrem de forma parecida ao plagioclásio, com exceção da alteração para carbonatos. Seus contatos são retos e irregulares com os demais minerais da rocha.

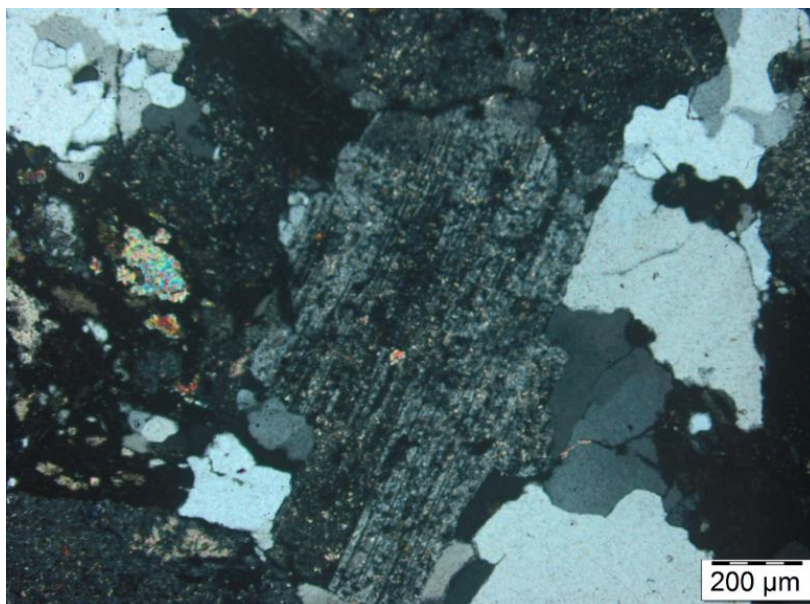


FIGURA 19 - PLAGIOCLÁSIO (NC) NO CENTRO COM MACLAS DO TIPO ALBITA. POSSUI HÁBITO PRISMÁTICO E ENCONTRA-SE BASTANTE ALTERADO PARA SERICITA E EPIDOTO, BEM REPRESENTATIVO DA ROCHA. POSSUI CONTATOS RETOS COM O QUARTZO.

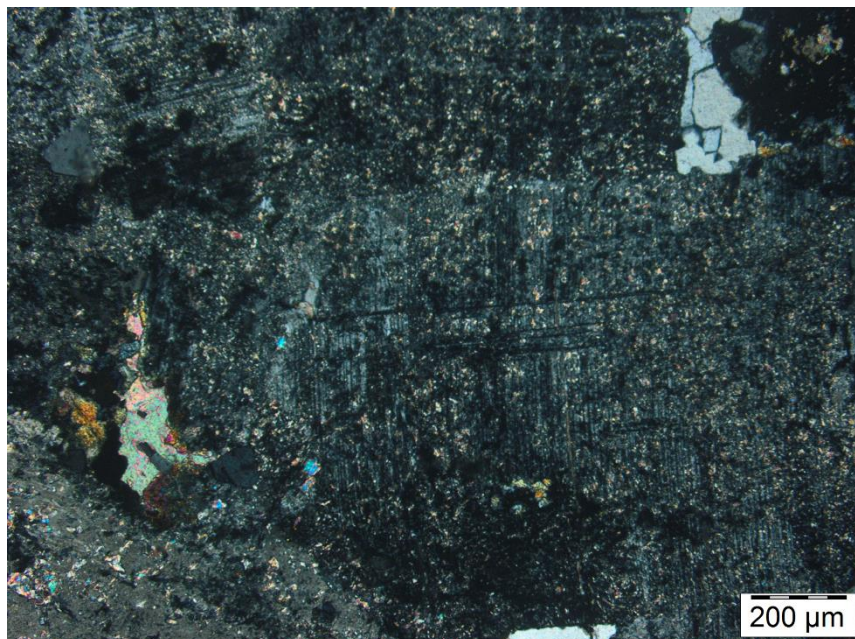


FIGURA 20 - CRISTAL DE PLAGIOCLÁSIO (NC) COM MACLAS DO TIPO ALBITA-PERICLINA. ESTÁ FORTEMENTE ALTERADO PARA SERICITA, PERCEBE-SE TAMBÉM ALTERAÇÃO PARA EPÍDOTO. À ESQUERDA O PLAGIOCLÁSIO ALTERA PARA CARBONATO.

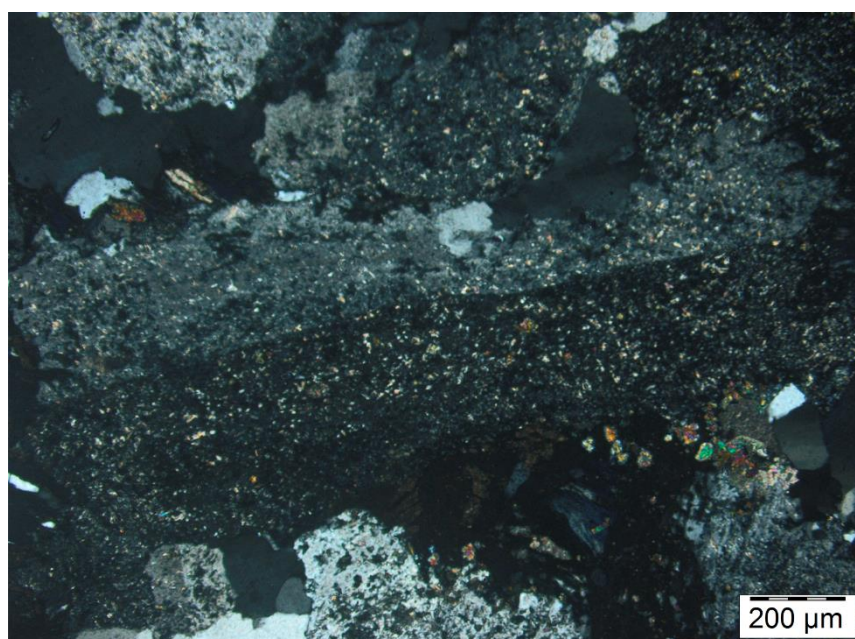


FIGURA 21 - CRISTAL DE PLAGIOCLÁSIO PRISMÁTICO (NC) NO CENTRO COM MACLAS DO TIPO CARLS-BAD. ESTE TIPO DE MACLA OCORRE DE MANEIRA MAIS RESTRITA EM COMPARAÇÃO COM AS OUTRAS QUE ESTÃO PRESENTES NA ROCHA.

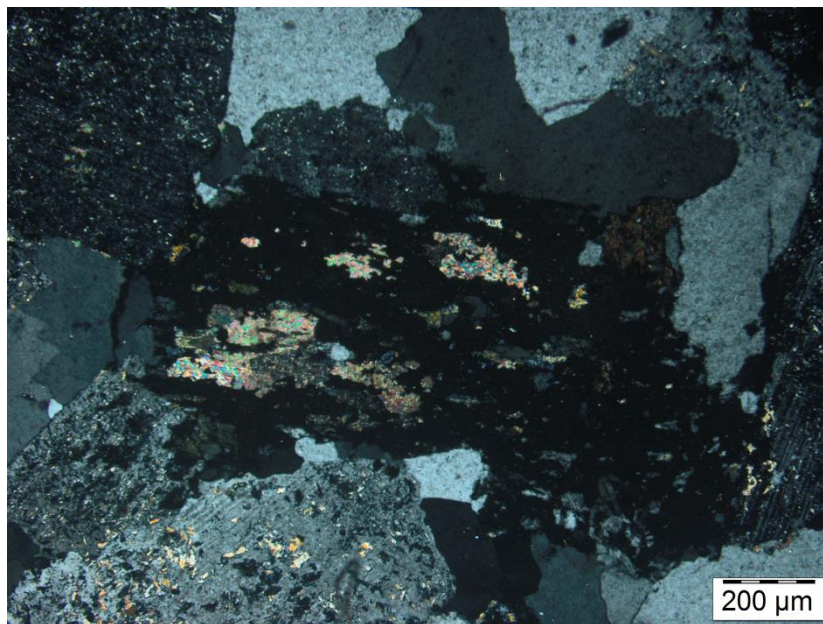


FIGURA 22 - PLAGIOCLÁSIO (NC) PRISMÁTICO ALTERANDO PARA CARBONATO E EPÍDOTO. POSSUI GRÃOS DE QUARTZO INCLUSOS.

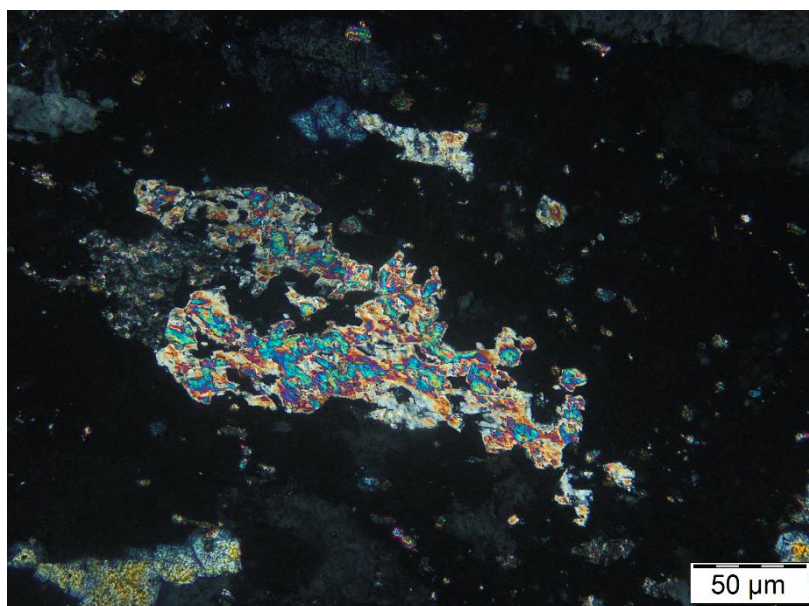


FIGURA 23 - PLAGIOCLÁSIO (NC) ALTERADO PARA EPÍDOTO E O PROCESSO DE SAUSSURITIZAÇÃO.

O quartzo apresenta faces anédricas e subédricas, seus tamanhos variam de 0,1 a 4,5 mm, tendo sua composição modal de aproximadamente 15 a 17%. Possui hábito granular e extinção ondulante em alguns grãos decorrente da leve deformação, bem como migração do limite do grão (figura 24). Encontra-se de maneira intersticial aos

outros minerais, está pouco fraturado e seus contatos com o plagioclásio são no geral irregulares.

O anfibólio, definido como hornblenda, possui faces subédricas e anédricas, seus tamanhos variam de 0,2 a 3mm e composição modal de aproximadamente 10 a 12%. Seu hábito no geral é prismático, porém são comuns hábitos mais granulares. Possuem coloração amarelo pálido e pleocroísmo quase imperceptível na maioria dos grãos, que quando presente varia de amarelo pálido (X) para amarelo (Y=Z). Nos seus bordos ocorrem agulhas de tremolita-actinolita como fases metamórficas do anfibólio, esses possuem hábitos aciculares. Não apresentam maclas, alteram para clorita, epídoto e carbonato e possuem inclusões de quartzo em alguns grãos. Seus contatos são retos e irregulares, por vezes penetrativos com o quartzo.

A titanita, o zircão, a apatita e os minerais opacos ocorrem como fases acessórias. A titanita possui faces principalmente anédricas e subordinadamente subédricas, seus tamanhos chegam a no máximo 0,5 mm. Seus hábitos são granulares e prismáticos, possuem coloração marrom e se destaca pelo alto relevo. Estão associadas aos anfibólios. O zircão ocorre como finos grãos de até 0,2 mm e a apatita como minerais aciculares com até 0,3 mm.

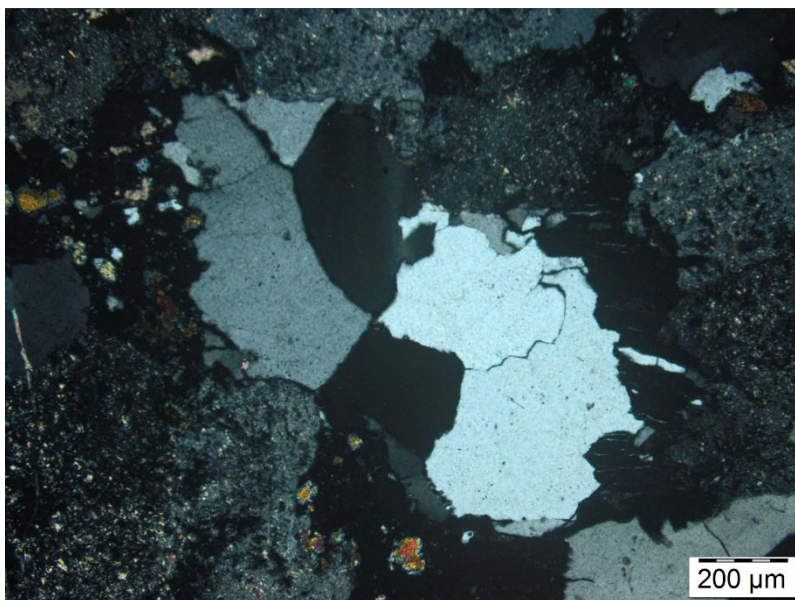


FIGURA 24 - CRISTAIS DE QUARTZO (NC) NO CENTRO. POSSUEM FACES ANÉDRICAS E TAMBÉM SUBÉDRICAS. SEUS CONTATOS COM O PLAGIOCLÁSIO SÃO RETOS E IRREGULARES. PERCEBE-SE QUE HÁ MIGRAÇÃO DO LIMITE DE GRÃO.

## 5.2 ANÁLISES QUÍMICAS POR MEV-EDS

Por meio das análises químicas de MEV-EDS foi possível caracterizar geoquimicamente, mesmo que de forma semiquantitativas, as fases minerais que constituem as rochas. Contribuindo de maneira satisfatória com a composição real dos minerais estudados, bem como a variação de seus respectivos elementos constituintes. As análises foram feitas na lâmina polida correspondente a amostra LR-01, na qual possui composição tonalítica, visto que essas rochas são as mais abundantes na Suíte Rosário.

### 5.2.1 PLAGIOCLÁSIO

Foram realizadas 25 análises por EDS em plagioclásios da amostra LR-01 (metatonalito). No geral os teores de Na são mais elevados em comparação com Ca, caracterizando plagioclásio sódicos, mais especificamente oligoclásios (aproximadamente 80% Ab + 20% An) (figura 25). É comum, nas porções mais alteradas, que haja um aumento nas quantidades de cálcio em relação ao sódio, o que pode ser explicado pela presença de epidoto como uma fase de alteração. (figura 26).

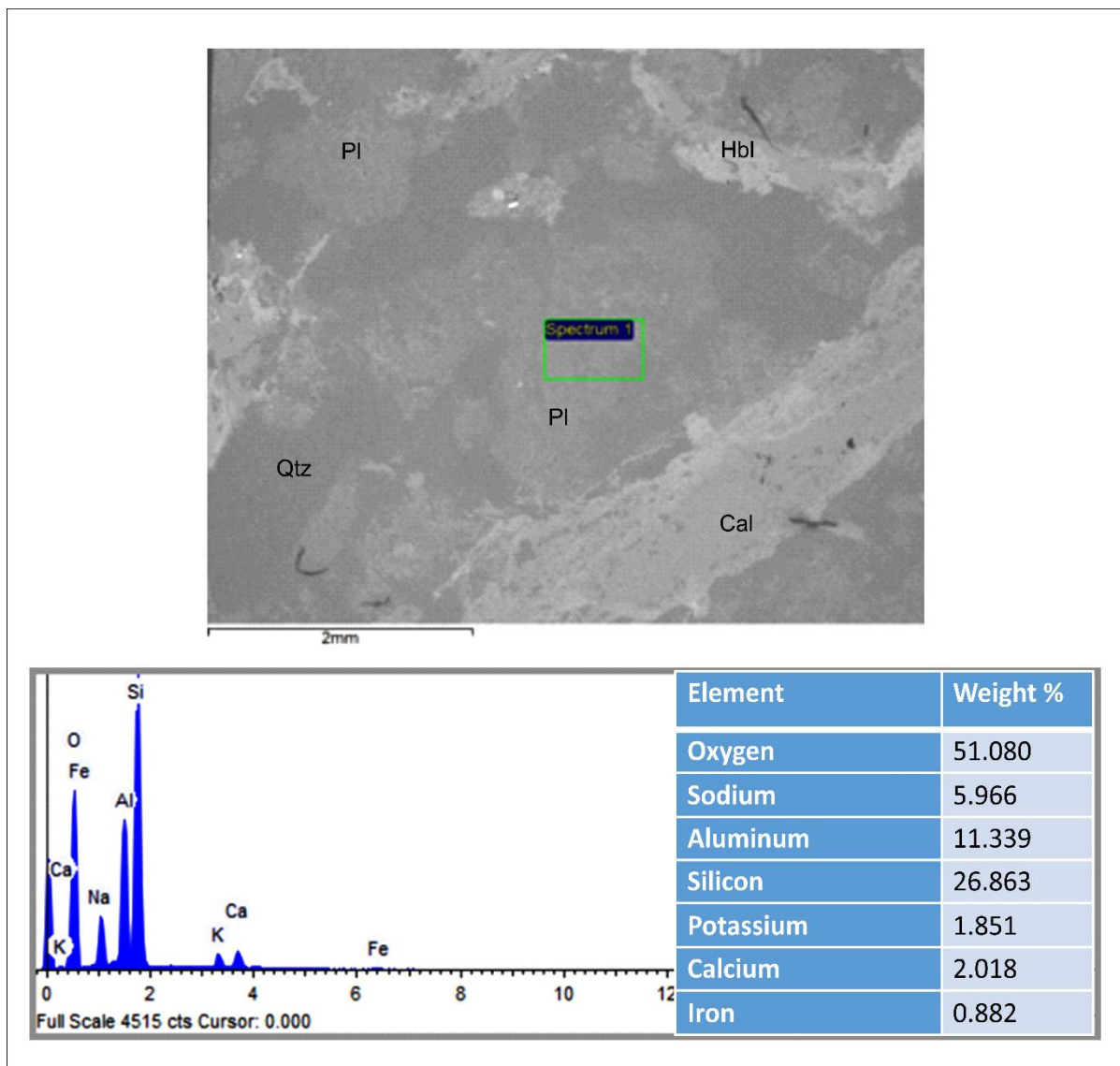


FIGURA 25 - ANÁLISE MEV-EDS NO PLAGIOCLÁSIO. OS TEORES DE NA SÃO MAIORES QUE OS DE CA, PORTANTO OS PLAGIOCLÁSIOS SÃO SÓDICOS, MAIS ESPECIFICAMENTE OLIGOCLÁSIOS. ALÉM DISSO HÁ K DERIVADO DA ALTERAÇÃO PARA SERICITA MUITO COMUM NESTA ROCHA.

A alteração rica em Ca está associada a outra alteração, rica em K (figura 26), que é expressa com a formação de minerais com hábitos lamelares cujo a composição química é composta por Si, Al e K, indicando a presença de sericita (Figura 27). Tanto a sericita quanto o epidoto são minerais neoformados, relacionados a processos termo-tectônicos de cisalhamento, e são provenientes de reações de desestabilização do plagioclásio.

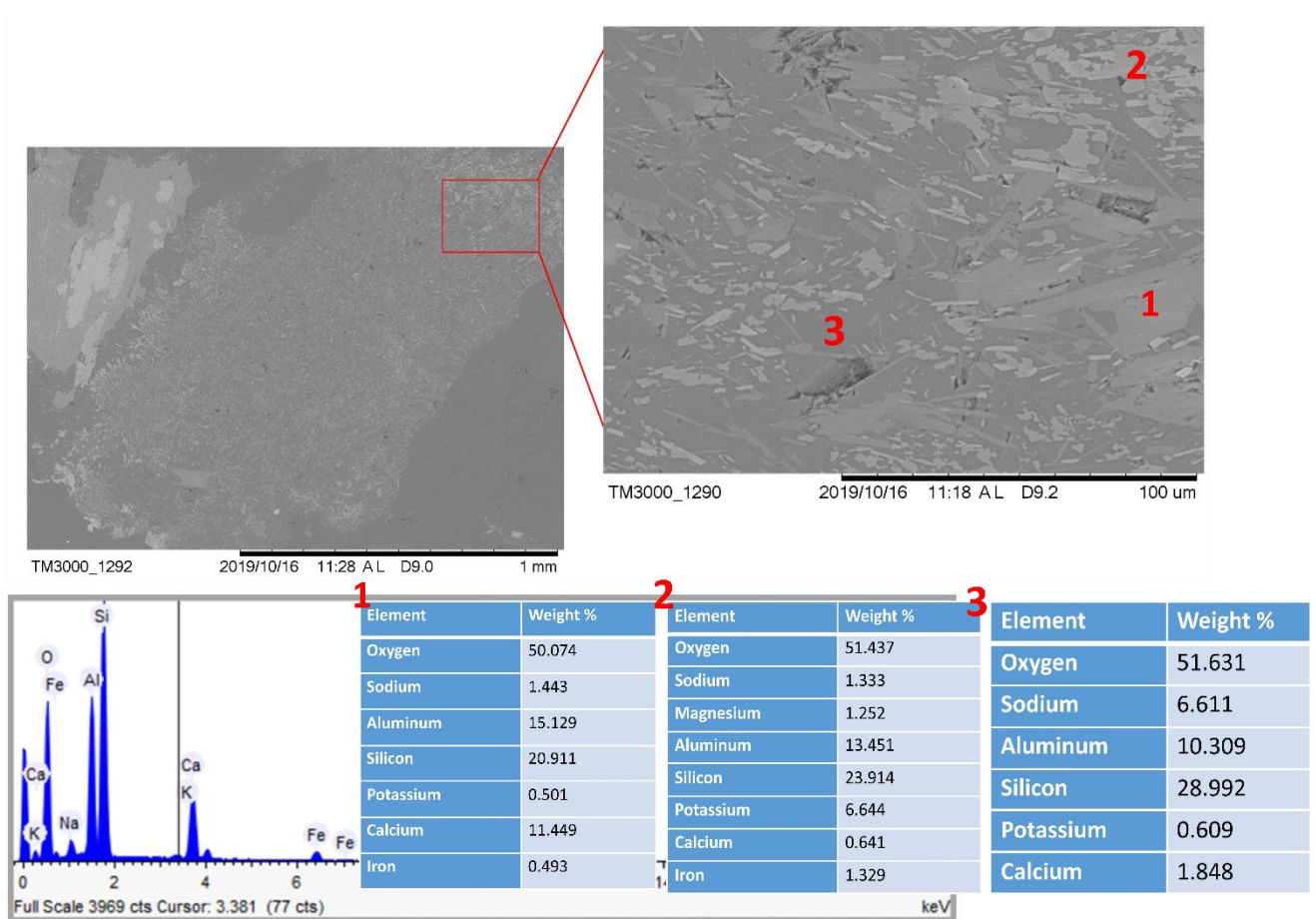


FIGURA 26 - PLAGIOCLÁSIO ALTERADO PARA SERICITA. PERCEBE-SE TRÊS FASES MINERAIS. A ANÁLISE DE EDS ABAIXO CORRESPONDE A ALTERAÇÃO DO PLAGIOCLÁSIO PARA EPÍDOTO.

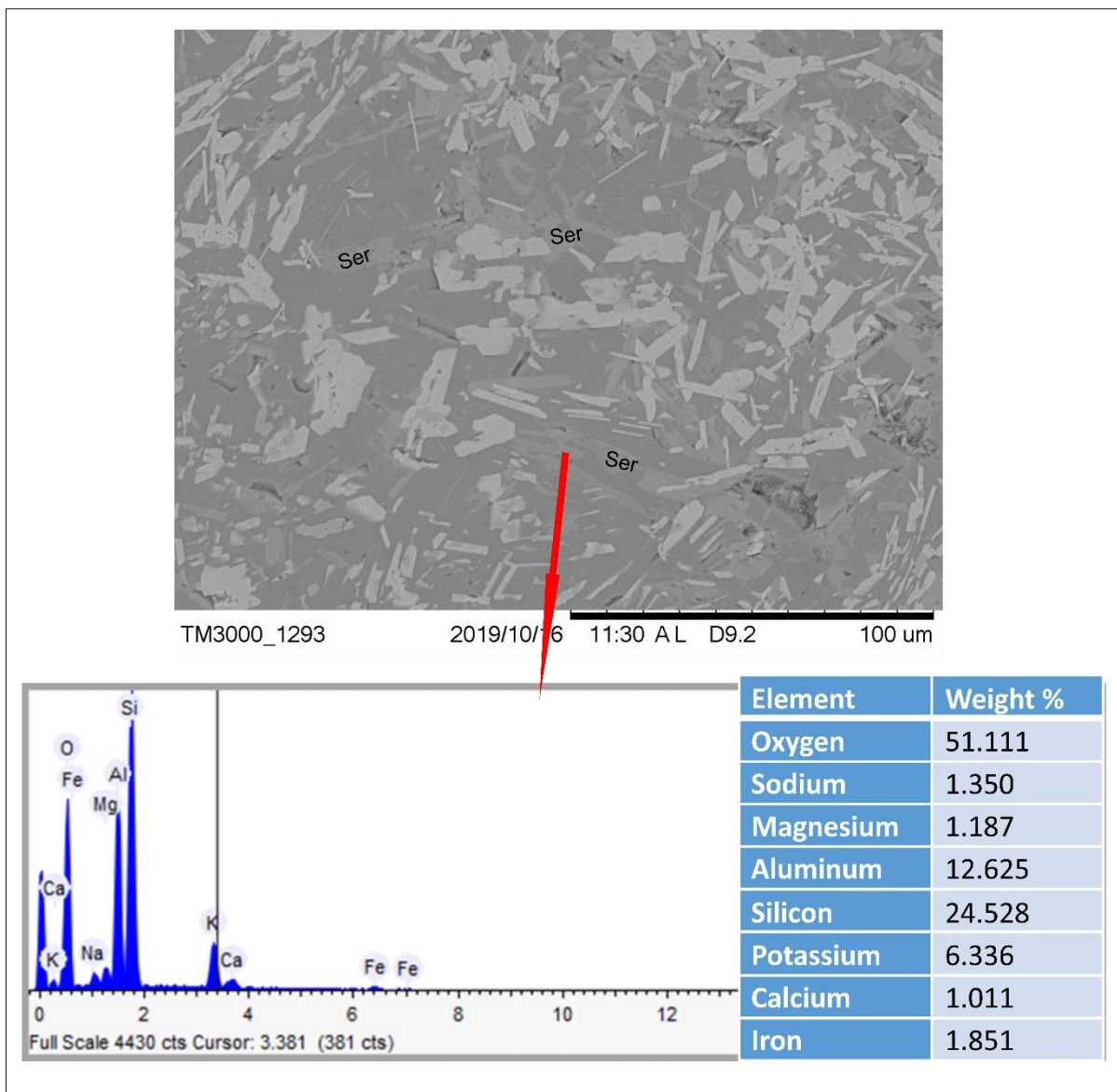


FIGURA 27 - ANÁLISES DE MEV-EDS EM PLAGIOCLÁSIOS ALTERADOS. A ALTERAÇÃO É FORMADA POR MINERAIS DE HÁBITOS LAMELARES RICOS EM K E AL, CORRESPONDENTE A SERICITIZAÇÃO.

### 5.2.2 HORNBLENDA

Foram realizadas aproximadamente 30 análises de EDS em minerais de hornblenda da amostra LR-01. Esses minerais apresentam composição rica em Ca e Fe, com nenhum Mg (Figura 28), correspondendo ao grupo dos anfibólios cálcicos (Leake, 1991). Alteram para pelo menos três fases minerais, seriam elas: clorita, tremolita-actinolita e epidoto, todas relacionadas a processos que envolvem a presença de fluidos hidrotermais. As altas concentrações de ferro tanto na hornblenda quanto nas fases de

alterações indicam que o membro inicial da série de solução sólida tremolita-actinolita ocorre de maneira mais discreta, pois não há Fe em sua composição (Leake, 1991), o que de fato ocorre, como pôde ser observado por meio do microscópio óptico.

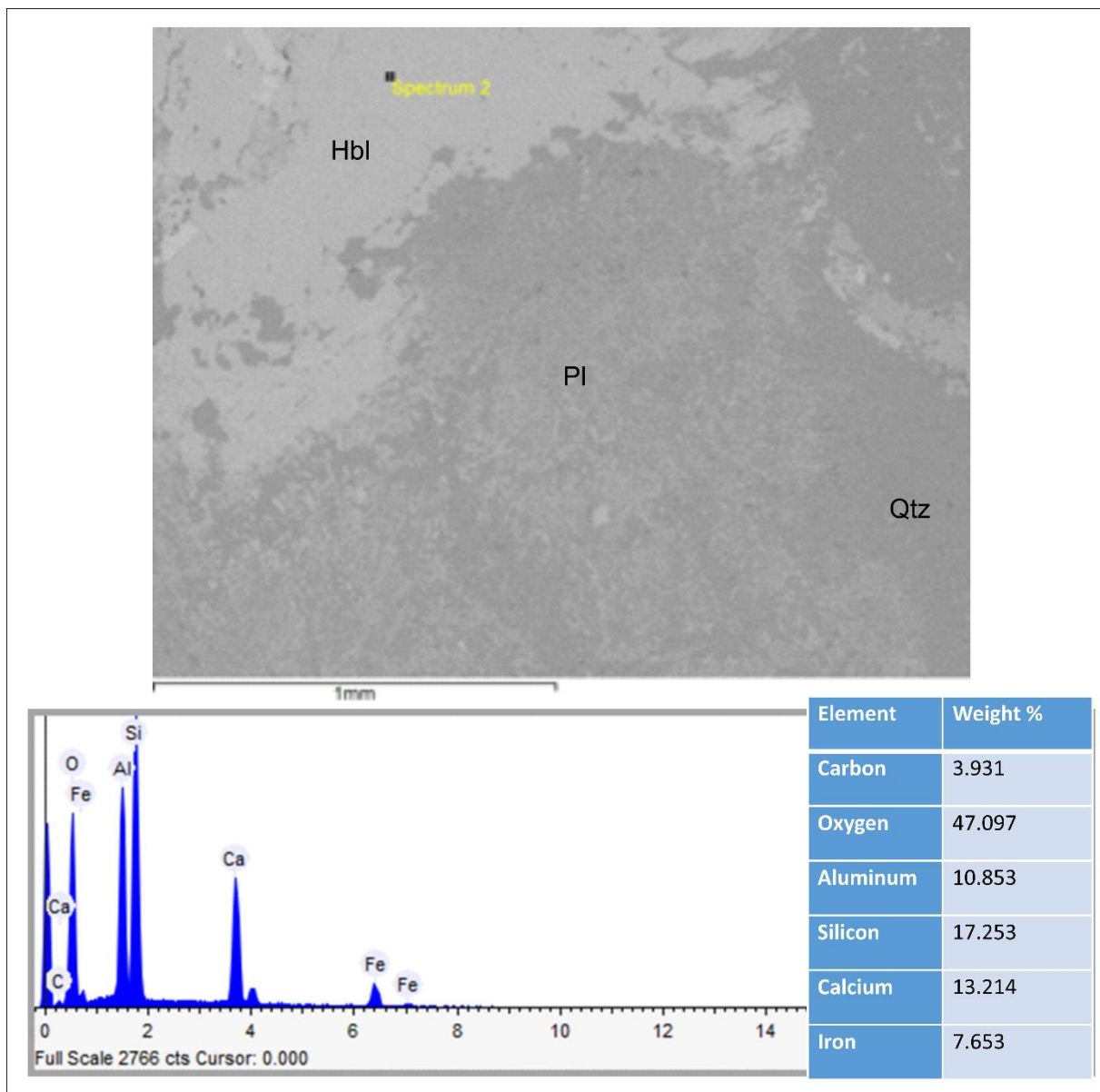


FIGURA 28 - ANÁLISE MEV-EDS DA HORNBLENDA MOSTRAM QUE HÁ GRANDES CONCENTRAÇÕES DE CA E FE E NENHUM MG, CORRESPONDENDO AO GRUPO DAS FE-HORNBLENDAS. ALÉM DISSO, O DIFRATOGRAMA SINALIZA A FORTE ALTERAÇÃO PARA EPÍDOTO.

As alterações, no geral, se dão das bordas para o centro. Em situações como essa, as bordas apresentam altos teores de Mg e baixo Ca, indicando uma maior alteração para clorita. Em direção ao centro do mineral, percebe-se que há um aumento

significativo de Ca, o que tende a acontecer devido a presença do epídoto e da hornblenda menos alterada (figura 29). Também é comum inclusões de apatita nos anfibólios e hornblendas totalmente alteradas para clorita. Os teores de titânio estão relacionados com a concentração de titanitas microgranulares associadas ao anfibólio (Figura 30). A formação de grande parte dos minerais hidratados está relacionada com os processos termo-tectônicos de cisalhamento, recristalizando assim outros minerais a partir da associação primária, induzindo reequilíbrios parciais durante a circulação dos fluídos (Gorayeb *et al.* 1999). Clorita, tremolita-actinolita e a titanita são minerais que estão relacionados a processos que destroem a hornblenda, com isso se torna comum na rocha a grande associação de anfibólios com esses minerais correspondentes as fases de alteração.

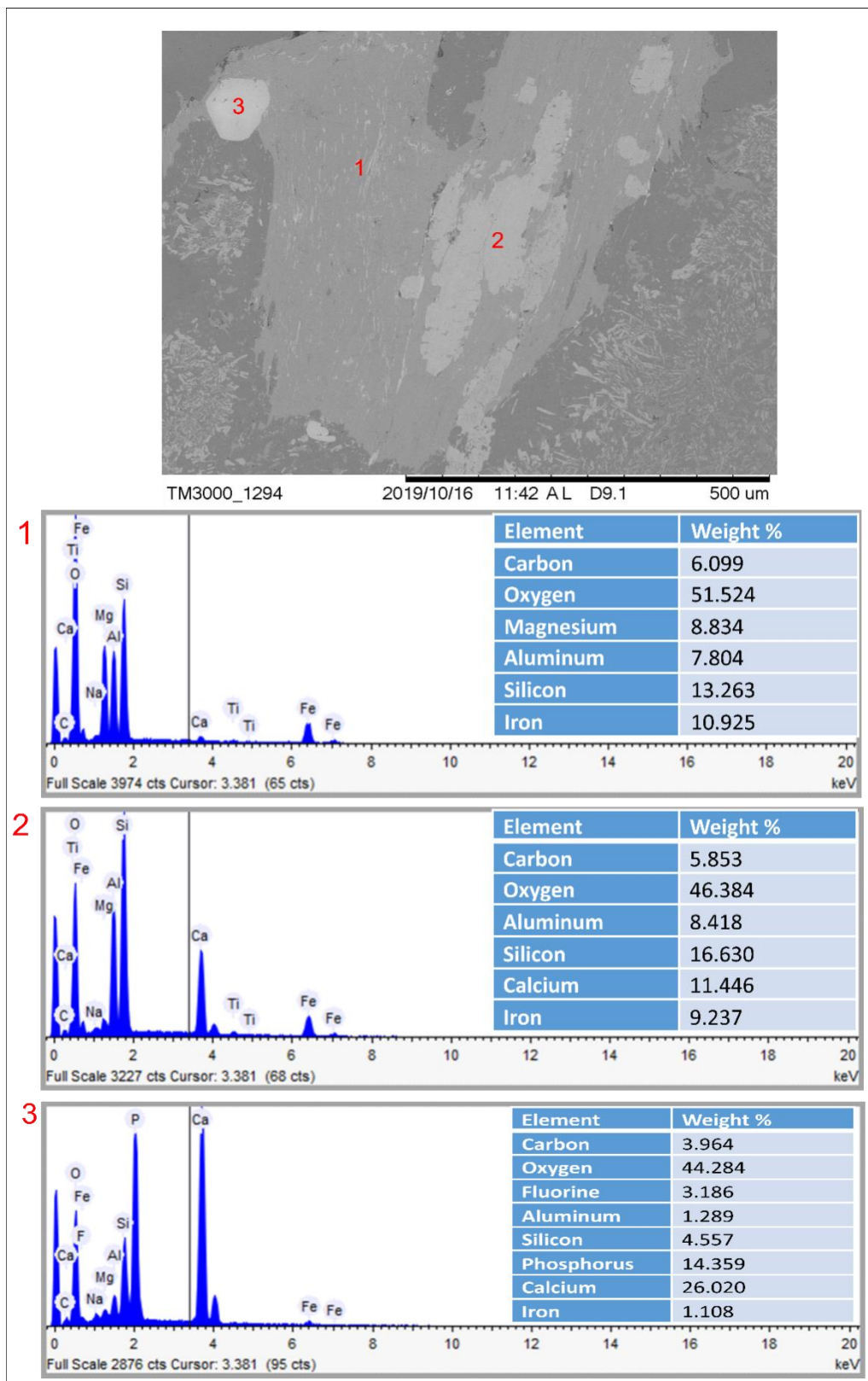


FIGURA 29 - AS BORDAS POSSUEM POUCA CA E BASTANTE MG E AL (1), NAS BORDAS APRESENTAM TEORES DE CA MAIS ELEVADOS (2). EM (3) AS CONCENTRAÇÕES DE P, F E CA SÃO MUITO ALTAS DEVIDO A PRESENÇA DE APATITAS INCLUSAS NAS HORNBLENIDAS.

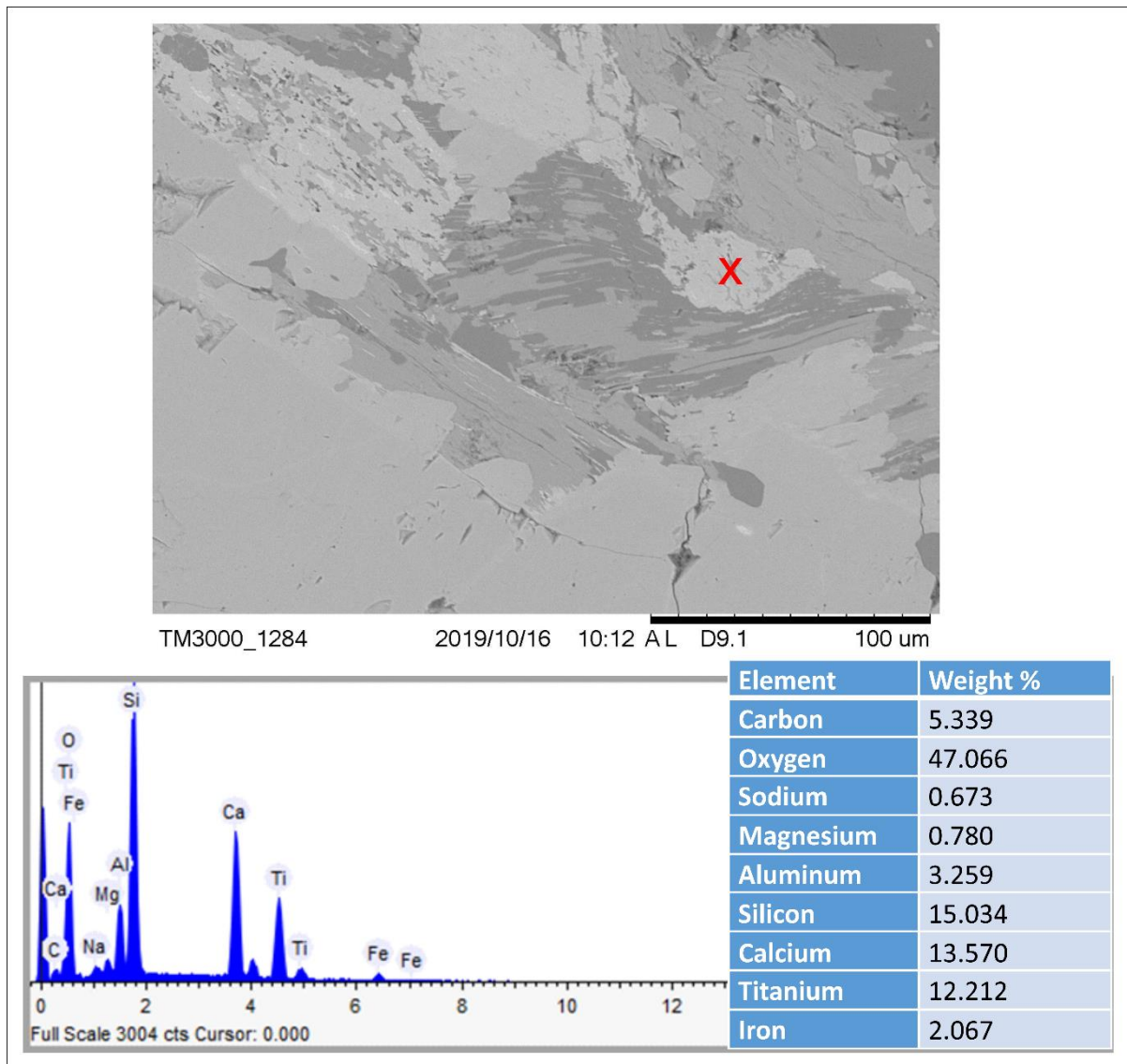


FIGURA 30 - NA IMAGEM DE MEV ESTÃO CRISTAIS DE HORNBLENDA ALTERADAS PARA CLORITA E EPÍDOTO. A ANÁLISE FEITA POR EDS CONSTA ELEVADOS TEORES DE TÍ QUE ESTÃO RELACIONADOS COM A TITÂNITA MICROGRANULAR COMUMENTE ASSOCIADA A HORNBLENDA.

### 5.2.3 VEIO DE CARBONATO

Foram realizadas oito análises de MEV-EDS no veio que corta a rocha. Na porção central os teores de Ca são substancialmente mais elevados em comparativo com outros elementos presentes (figura 31). Já nas bordas nota-se que a concentração de cálcio diminui bastante, enquanto que o Fe e o Al estão presentes em quantidades mais expressivas (figura 31).

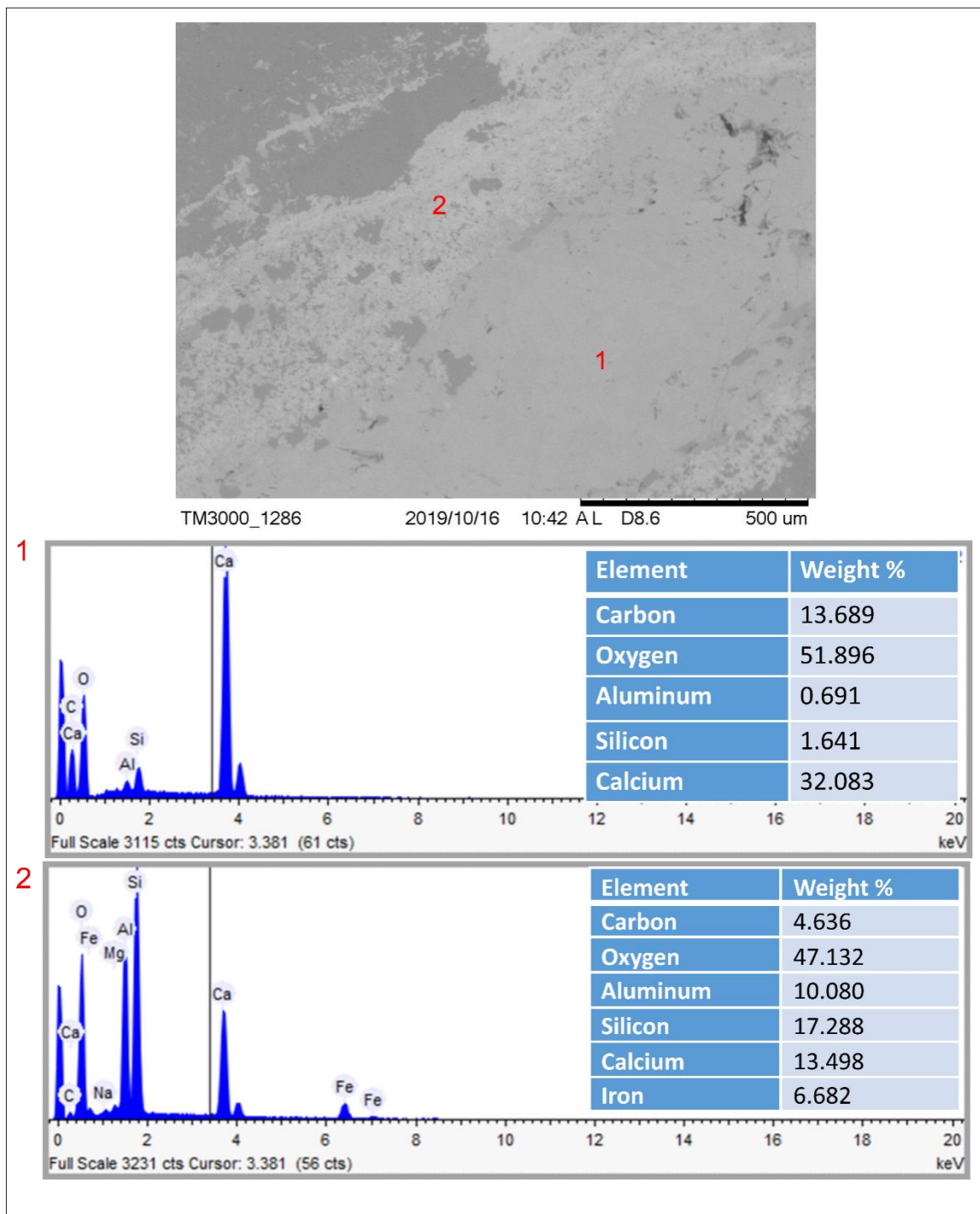


FIGURA 31 - ANÁLISES DE MEV-EDS MOSTRAM QUE A PORÇÃO CENTRAL DO VEIO APRESENTA TEORES ELEVADOS DE CA (1) E BAIXOS DE AL, JÁ NA BORDA (2) HÁ ALTAS CONCENTRAÇÕES DE AL, CA, MG E SI.

## 7 CONCLUSÕES

As rochas da Suíte Rosário analisadas neste trabalho apresentam mineralogias semelhantes, compostas principalmente por plagioclásio, anfibólios e quartzo, havendo uma variação nas porcentagens modais dos minerais (quadro 2). Ambas preservam as características plutônicas principais, como textura e mineralogia, sobrepostas por um leve metamorfismo indiciado pelas deformações de minerais, como a migração do limite de grão, deformação do retículo cristalino, resultando em extinção ondulante e um leve estiramento no quartzo.

As análises de EDS retificam o que foi observado na microscopia óptica e mostram que, no geral, os plagioclásios possuem composição sódica, com predominância de Na em relação ao Ca presentes neste mineral (tabela 4). Além disso, os dados obtidos constataam que os teores de Ca e K estão relacionados com as alterações para epídoto e sericita, respectivamente. Já nos anfibólios há predominância de Ca em detrimento do Na e Mg (tabela 5). A presença de Mg é decorrente da alteração para clorita, sendo bastante comum em toda rocha. No mais, constata-se evidentemente a presença de alterações para epídoto e titanita granulares, que derivam a partir de reações com os anfibólios.

QUADRO 2 - PORCENTAGENS MODAIS DOS MINERAIS NAS ROCHAS

Minerais	Tonalito	Quartzo-Diorito
Plagioclásio	60%	60-65%
Hornblenda	18-20%	10-12%
Quartzo	17-20%	15-17%
Feldspato Potássico	3-7%	2-5%
Outros	1%	1%

A neoformação da mineralogia presente na rocha relaciona-se, em grande parte, a processos tectônicos de cisalhamento, no qual resultou na circulação de fluídos hidrotermais responsáveis por alterar os minerais primários magmáticos (Gorayeb *et al.* 1999). O veio de carbonato que corta a rocha é preenchido por calcita, concluindo que o fluído hidrotermal era rico em Ca, o que pode estar relacionado com a grande presença

de minerais neoformados com altos teores deste elemento, como por exemplo, o epídoto, tremolita-actinolita. Já a clorita é um mineral comum em assembleias minerais formadas a partir de metamorfismo, tem sua origem por alteração hidrotermal de minerais máficos, neste caso o anfibólio.

Os processos tectônicos que resultaram nas transformações textural-estruturais e mineralógicas na Suíte Rosário estão relacionados ao Evento Brasileiro (Gama Jr *et al.* 1988), situadas no mesmo contexto que afetaram o Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará (Abreu *et al.* 1988) (Gorayeb *et al.* 1999), no oeste da Província do Borborema.

TABELA 3 – DADOS DE EDS OBTIDOS A PARTIR DA ANÁLISE DO PLAGIOCLÁSIO

Element	Weight %	Weight % $\sigma$	Atomic %
Oxygen	51.080	0.350	64.744
Sodium	5.366	0.129	4.733
Aluminum	11.339	0.153	8.522
Silicon	26.863	0.243	19.396
Potassium	1.851	0.086	0.960
Calcium	2.618	0.100	1.324
Iron	0.882	0.145	0.320

TABELA 4 – DADOS DE EDS OBTIDOS A PARTIR DA ANÁLISE DA HORNBLENDA ALTERADA PARA EPÍDOTO

Element	Weight %	Weight % $\sigma$	Atomic %
Carbon	3.991	0.499	6.972
Oxygen	46.623	0.501	61.138
Sodium	0.567	0.090	0.518
Aluminum	10.284	0.170	7.996
Silicon	19.043	0.249	14.225
Calcium	12.379	0.201	6.480
Iron	7.113	0.252	2.672

De acordo com os dados aqui analisados e tendo em vista que um dos objetivos deste trabalho era enfatizar a aplicabilidade dessas rochas, já que são fortemente exploradas na região para a utilização na construção civil, conclui-se que não são ideais para este propósito. De acordo com Frazão (2012), numerosos problemas são provocados pelas modificações das características iniciais das rochas por processos de alteração, dentre eles o aumento da porosidade e da capacidade de absorção de água, a diminuição da resistência mecânica e aumento da deformabilidade e prejuízos da aderência e adesividade. Apesar da petrografia ser um dos principais métodos para este tipo de avaliação, como sugerem alguns pesquisadores, seriam necessários outros tipos de análises como ensaios de resistência e deformabilidade para concluir com maior precisão se essas rochas podem ou não ser utilizadas como agregados de construção civil.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211. 2005. *Agregados para concreto* – especificação. Rio de Janeiro.
- Abreu F. A. M., Villas R. N. N., Hasui Y. 1980. Esboço estratigráfico do Precambriano da região do Gurupi, Estados do Pará e Maranhão. *In: SBG, 31º Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú. Anais...* v.2, p. 753-760.
- Almeida F.F.M. 1967. *Origem e evolução da Plataforma Brasileira*. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 36p. (Boletim 241).
- Bacci D.C., Landim P.M.B., Eston S. M. 2006. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, **59**(1): 47-54.
- Brown G.C., Thorpe R.S., Webb P.C. 1984. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on source magmas. *J. Geol. Soc. Lond.* **141**: 413–426.
- Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM. 2018 [online]. *Cadastro Nacional de Produtores de Brita: ano base 2015*. Available at: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/cadastro-nacional-de-produtores-de-brita> [Accessed 10 Oct. 2019].
- Frazão E. B. 2012. *Alteração de rochas como critério de seleção de agregados* 2ºed. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 123p.
- Gama Jr. T., Gorayeb P.S.S., Abreu F.A.M. 1988. O Granito Pedra do Sal e suas feições de cisalhamento. *Revista Brasileira de Geociências*, **18**:424-432.
- Gorayeb P.S.S. & Abreu F.A.M. 1996. Feições magmáticas e transformações tectono-metamórficas em granitóides da Suíte Rosário-MA. *In: 39º SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Anais...*, v.2, p.94-97.
- Gorayeb P.S.S., Abreu F.A.M., Moura C.A.V. 1995. Geração de corpos graníticos batolíticos sintransamazônicos na Província Borborema: O exemplo do Granitóide Chaval. *In: SBG-NE, 16º Simpósio de Geologia do Nordeste, Recife, Atas...*(Boletim 14), p. 414-417.
- Gorayeb P.S.S., Gaudette H.E., Moura C.A.V., Abreu F.A.M. 1999. Geologia e geocronologia da Suíte Rosário, nordeste do Brasil, e sua contextualização geotectônica. *Revista Brasileira de Geociências*, **29**:571-578.
- Hasui Y., Abreu F.A.M., Villas R.N.N. 1984. Província Parnaíba. *In: Almeida F.F.M. & Hasui Y. (coord.). O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, Edgard Blücher, p. 36-46.
- Klein E.L. 2004. *Evolução crustal pré-cambriana e aspectos da metalogênese do ouro do Cráton São Luis e do Cinturão Gurupi, NE-Pará/NW-Maranhão, Brasil*. PhD Thesis, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 303p.

Klein E.L. & Moura C.A.V. 2001. Age constraints on granitoids and metavolcanic rocks of the São Luís Craton and Gurupi Belt, northern Brazil: implications for lithostratigraphy and geological evolution. *Intern. Geol. Review*, **43**:237-253.

Klein E. L., Moura, C. A. V., Krymsky, R. S., Griffin, W. L. 2005a. The Gurupi belt in northern Brazil: lithostratigraphy, geochronology, and geodynamic evolution. *Precambrian Research*, **141**(3-4): 83-105.

Klein E.L., Rodrigues J.B., Lopes E.C.S., Soledade G.L. 2012. Diversity of Rhyacian granitoids in the basement of the Neoproterozoic-Early Cambrian Gurupi Belt, northern Brazil: geochemistry, U-Pb zircon geochronology, and Nd isotope constraints on the Paleoproterozoic magmatic and crustal evolution. *Precambrian Research*, (220–221): 192–216.

Klein E.L., Tassinari C.C.G., Vasconcelos P.M. 2014. U-Pb Shrimp and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  constraints on the timing of mineralization in the Paleoproterozoic Caxias orogenic gold deposit, São Luís cratonic fragment, Brazil. *Journal of Geology*, **44**:277-288.

Leake B. E. 1991. Nomenclatura de anfibólios. *Revista Brasileira de Geociências*. **21**(3):288-297.

Neves B.B.B. 1975. *Regionalização geotectônica do Pré-Cambriano nordestino*. PhD Thesis, Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 198p.

Nogueira B. K. C. *Petrografia, geoquímica e geocronologia da Suíte Rosário, Fragmento Cratônico São Luís, Ma*. Orientador: Paulo Sergio de Sousa Gorayeb. MS Dissertation, Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 107p.

Nogueira B. K. C., Gorayeb P. S. S., Dantas E. L., Leal R. E., Galarza Toro, M. A. 2017. Rhyacian evolution of the eastern São Luís Craton: petrography, geochemistry and geochronology of the Rosário Suite. Rhyacian evolution of the eastern São Luís Craton: petrography, geochemistry and geochronology of the Rosário Suite. *Brazilian Journal of Geology*, **47**: 275-299, April.

Palheta E.S.M. 2001. *Evolução geológica da região nordeste do Estado do Pará com base em estudos estruturais e isotópicos de granitóides*. MS Dissertation, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 143p.

Pastana J.M.N. 1995. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Programa Grande Carajás. Turiau/Pinheiro, folhas SA.23V-D/SA.23-Y-B. Estados do Pará e Maranhão. Brasília, CPRM, 205p.

Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25**(4): 956-983.

Silva J. A. P. 2005. *A Mineração de brita na região metropolitana do Rio de Janeiro*. MS Dissertation, Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 146 p.

Silva M. A. P. *Influência das características morfológicas de britas graníticas e gnáissicas na resistência à compressão do concreto*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 104p.

Sousa C.S., Klein E.L., Vasquez M.L., Lopes E.C.S., Teixeira S.G., Oliveira J.K.M., Moura E.M., Leão M.H.B. 2012. Mapa geológico e recursos minerais do estado do Maranhão. In: Klein E.L. & Sousa C.S. (orgs.). *Geologia e recursos minerais do estado do Maranhão*. SIG, Escala 1:750.000. Belém, CPRM. Disponível em: [www.geobank.cprm.gov.br/pls/public/Projetos](http://www.geobank.cprm.gov.br/pls/public/Projetos). Acesso em: 29 de setembro 2019.

Streckeisen A.L. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Rev.* **12**(1):1-33.

Thiéblemont D. & Téguy M. 1994. Une discrimination géochimique des roches différenciées témoin de la diversité d'origine et de situation tectonique des magmas calcio-alcalins. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **319**: 87-94.

Vasquez M.L. & Rosa-Costa L.T. 2008. *Geologia e recursos minerais do Estado do Pará. Integração, atualização e difusão de dados da geologia do Brasil*. Mapas geológicos estaduais. Escala 1:1.000.000. CD-ROM. (Programa Geologia do Brasil - PGE)

Whalen J.B., Currie K. L. & Chappell B. W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **95**:407-41.