



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**CARLOS DAVID ARAÚJO VENTURA**  
**MARCUS VENICIUS PAIVA CALDAS**

**MAPEAMENTO LITOESTRUTURAL DE ROCHA ORNAMENTAL DA MINA**  
**AMAZON, VIEIRÓPOLIS-PB.**

**FORTALEZA**

**2019**

**CARLOS DAVID ARAÚJO VENTURA  
MARCUS VENICIUS PAIVA CALDAS**

**MAPEAMENTO LITOESTRUTURAL DE ROCHA ORNAMENTAL DA MINA  
AMAZON, VIEIRÓPOLIS-PB.**

Monografia apresentada ao Curso de Geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Prof. Dra. Irani Clezar Mattos.

Coorientador: Prof. Dr. Christiano Magini.

**FORTALEZA**

**2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C15m Caldas, Marcus Venicius Paiva.

Mapeamento Litoestrutural de rocha ornamental da Mina Amazon, Vieirópolis-Pb /  
Marcos Venicius Paiva Caldas; Carlos David Araújo Ventura. -  
124 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro  
de Ciências, Curso de Geologia, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Irani Clezar Mattos.

Coorientação: Prof. Dr. Christiano Magini.

1. Rocha Ornamental. 2. Complexo Caicó. 3. Magmatismo Ediacarano. I. Ventura, Carlos  
David Araújo. II. Título.

CDD 551

---

## **AGRADECIMENTOS**

Eu, Carlos David, agradeço à minha família, minha mãe Mary Geovanete, e principalmente à minha avó Iracema, que é como uma mãe para mim, que me criou e me apoiou durante todos estes anos de vida, pelo amor que me deram, pelos ensinamentos e por toda a base moral que fizeram de mim quem eu sou.

Ao meu amigo Marcus Venicius, por aceitar o desafio deste trabalho, pela amizade e companheirismo. Ao seu pai, Moacir, pelos conselhos e pela hospitalidade.

Eu, Marcus Venicius, em primeiro lugar quero agradecer a empresa Granistone S.A, na pessoa do Sr. Sheldon Sarmiento e ao Sr. Remo Sarmiento, como também a todos os demais amigos da empresa, pela oportunidade de estágio oferecida a qual foi essencial para realização deste trabalho, apoio, ensino e compreensão.

Ao meu companheiro de monografia e grande amigo Carlos David, por me ajudar na realização do trabalho, por sua amizade e apoio.

Ao meu tio Iapurinam Paiva que sempre contou seus casos geológicos enquanto estudante do curso de geologia da UFC, assim me inspirando e me encorajando. Uma de suas frases sempre me lembrarei, "se pudesse escolher outro curso para fazer...escolheria geologia de novo!".

A minha tia Iaponira Paiva que me ensinou e me ajudou muito acerca das análises petrográficas do presente trabalho, muitas vezes abrindo mão do seu tempo para me conceder tais ensinamentos. Agradeço também a inspiração e o encorajamento.

A meus pais Moacir e Maria Guaracy, bem como a minhas irmãs Flora e Carolina, pelo apoio, incentivo e amor ao longo da vida.

Aos veteranos membros do grupo SDB, sigla a qual o significado só é entendido pelos membros, representado pelas pessoas de Aerson Moreira, Ramon Lino, Almir Santiago, Matheus Miranda, Marcos Paulo Pontes (Foguinho), Pedro Angelo, Allan Bernadino, Neto Gonçalves, Robert Muniz e Weber Pongitori. Fica aqui a gratidão pelos ensinamentos geológicos e morais e pela amizade que ultrapassou os muros da universidade e que perdurará para sempre.

Nós, Carlos David e Marcus Venicius, agradecemos a professora Dra. Irani Clezar Mattos e ao professor Dr. Christiano Magini por seus ensinamentos, disponibilidade e compreensão.

A todos os companheiros da turma de 2014.1 do curso de geologia da UFC, principal nas pessoas de Rayron Maia, Isaac Gomes, Erick Marcio, Guilherme Maia, João Gabriel, Ian Cerdeira, Henrique Ibsen, Luan Uchoa, Diego Silva, David dos Santos, Eduardo Gurgel, Eryck Lima, Thiago de Lima, Narjara Maria, Sara Ferreira, Júlia Franco, Jéssica Cardoso, Thainara Freires, Linara Ivina, Claudia Saraiva, Laryssa Carneiro, e tantos outros que fizeram parte desta jornada de cinco anos. Fica aqui a gratidão pelo apoio, ensinamentos, e bons momentos em sala de aula e em inesquecíveis viagens de campos.

Aos irmãos da Igreja Cristã Maranata pelas orações.

E por fim, e mais importante, a *Deus* que por nenhum momento nos deixou sós, concedendo força e discernimento, e mostrou durante todo o curso de geologia marcas de sua graça, glória e amor.

## RESUMO

A região Nordeste do Brasil é reconhecida como sendo de grande potencial para o crescimento do mercado de rochas ornamentais, pois grande parte das rochas estão expostas na superfície o que facilita o trabalho de pesquisa geológica para requerimento de novas áreas. A área de estudo é requerida pela empresa *Granistone S.A*, inserida no município de Vieirópolis, pertencente ao estado da Paraíba, onde a empresa lavra um dique de pegmatito à amazonita e beneficia os blocos para a venda. Geologicamente a área está inserida no Terreno Rio Piranhas-Seridó, pertencente ao Domínio Rio Grande do Norte da Província Borborema. Para entender a associação geológica e os controles estruturais do pegmatito à amazonita se realizou um mapeamento litoestrutural na área de requerimento referente a Mina Amazon. A etapa pré-campo possibilitou obter conhecimentos acerca da geomorfologia, geologia e estrutural da área de estudo, enquanto na etapa de campo foi realizado o mapeamento litoestrutural e o entendimento dos processos de produção e venda, na etapa pós-campo, a classificação petrográfica proporcionou a definição correta dos nomes das rochas mapeadas bem como um entendimento dos processos metamórficos atuantes. A área apresenta estruturas dúcteis e rúpteis, como dobras, foliações, diques e fraturas originados durante as orogêneses transamazônica e brasiliana. O pegmatito à amazonita é controlado por fraturas R-T formadas em um estágio pós-orogênico brasileiro. O dique de pegmatito à amazonita é gerado a partir dos fluidos finais do magmatismo ediacarano os quais preencheram fraturas extensionais de tipo "T" controladas pela zona de cisalhamento Portalegre. Os processos de produção e venda do pegmatito à amazonita como rocha ornamental foram entendidos de forma detalhada. A área foi sujeita a processos metamórficos de fácies anfíbolito superior que formaram rochas ortoderivadas do Complexo Caicó durante a orogenia transamazônica, as quais posteriormente foram retrabalhadas e metamorfasadas pela orogenia Brasileira que também formou os granitoides ediacaranos e que estes, por sua vez, possibilitaram a geração do pegmatito à amazonita.

**Palavras-chave:** Rocha Ornamental, Complexo Caicó, Magmatismo Ediacarano.

## ABSTRACT

The Northeast region of Brazil is recognized as having great potential for the growth of the ornamental stone market, since a large part of the rocks are exposed in the surface, which makes easier the geological research work to request new areas. The study area is related to the one required by Granistone S.A company, being inserted in the county of Vieirópolis, belonging to the state of Paraíba, there the company mine an amazonite pegmatite dyke and benefits the blocks for sale. Geologically the area is inserted in the Rio Piranhas-Seridó Land, belonging to the Rio Grande do Norte Domain of the Borborema Province. In order to understand the geological association and the structural controls of the amazonite pegmatite, a lithostructural mapping was performed in the area of application concerning the Amazon Mine. It is also the purpose of the this paper explain the system of production and sale of the blocks produced by the company. The pre-mapping stage allowed knowledge about the geomorphology, geology and structure of the study area, while in the mapping stage were performed the lithostructural mapping and the understanding of the production and sale processes, later, in the post-mapping stage, the petrography study provided the correct definition of the names of the mapped rocks as well as an understanding of the active metamorphic processes, while the creation of the rose diagrams and stereographic projections provided an understanding of the structural aspects represented by the ductile and brittle stages. The results show that the amazonite pegmatite dyke is generated from the final fluids of the Ediacaran magmatism which filled T - type extension fractures controlled by the Portalegre shear zone. Two other occurrences of amazonite pegmatite were mapped, as well as areas of old shorlite tourmaline mines. The processes of production and sale of amazonite pegmatite as ornamental rock were understood in detail. The lithostructural mapping allows to conclude that the area was subjected to metamorphic processes of upper amphibolite facies that generated ortho-derived rocks of the Complex Caicó during the transamazonian orogeny, which later were reworked and metamorphosed by the Brazilian orogeny that also generated the Ediacaran granitoids, and these allowed the amazonite pegmatite generation.

**Keywords:** Ornamental stones, Caicó Complex, Ediacaran magmatism.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa de acesso da área de estudo. ....	21
<b>Figura 2</b> - Compartimentação tectonoestratigráfica da Província Borborema, modificado de Santos et al., 2014. SMC = Subprovíncia Médio Coreaú, SCC = Subprovíncia Ceará Central, SRN = Subprovíncia Rio Grande do Norte, STR = Subprovíncia Transversal, SME = Subprovíncia Meridional.....	25
<b>Figura 3</b> - Recorte da Folha Sousa (Medeiros et.al. 2008), com modificação e representação da área de estudo na escala 1:50.000. ....	30
<b>Figura 4</b> – PDI de imagem landsat 8 de composição 5R4G3B da área de estudo...32	
<b>Figura 5</b> – Mapas de imagem SRTM destacando a área de estudo onde foi possível extrair lineamentos associados à foliação NE-SW e lineamentos NW-SE com filtros direcionais de 135° e 0°. ....	33
<b>Figura 6</b> – Modelos Digitais de Terreno. 1) MDT com vista E-W; 2) MDT com vista NE-SW; 3) MDT com vista N-S. ....	34
<b>Figura 7</b> – Mapa geológico final.....	36
<b>Figura 8</b> - Foto 1) Afloramento de Ortognaisse Pórfiro apresentando bandamento gnaissico. Foto 2) Porfiroblastos de feldspato potássico sigmoidais indicando movimento dextral. Foto 3) Contato com dique de granito fino. ....	38
<b>Figura 9</b> - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de ortognaisse pórfiro. Foto 1) Porfiroclásto de feldspato potássico orientados em meio a matriz foliada. Foto 2) Pofiroclásto de feldspato potássico com inclusões de quartzo, plagioclásio e lamelas de biotita. Foto 3) Cristais de hornblenda. Foto 4) Alteração em cristal de allanita pseudomórfica e anédrica. Foto 5) Cristais de epidoto e opaco. Foto 6) Porfiroclástos de feldspato potássico com geminação Calsbad e Albita-Periclina (xadrez) típica do microclínio. ....	40
<b>Figura 10</b> – Foto 1) Alguns blocos de anfibolito entre blocos de outras rochas granitoides em terreno de solo bastante avermelhado. Foto 2) Bloco de anfibolito. Foto 3) Lagedo de plagioclásio-anfibolito.....	41
<b>Figura 11</b> - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de anfibolito. Foto 1 e 2) Fotomicrografias com nicóis cruzados e descruzados respectivamente mostrando a visão geral da rocha anfibolítica em lâmina delgada onde pode ser observada a grande quantidade de hornblenda. Foto 3) Hornblenda alterando para biotita. Foto 4) Cristal de titanita associado a lamelas de hornblenda e biotita. Foto 5) Cristais de	

apatita e cristais de zircão com halos pleocróicos. Foto 6) Mimerquita associada ao feldspato potássico e a hornblenda. ....43

**Figura 12** - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de plagioclásio-anfibolito. Foto 1) Visão geral da rocha na sessão delgada com grande quantidade de hornblenda e plagioclásio, este ultimo no centro com macla do tipo albita. Foto 2) Visão geral da rocha na sessão delgada a nicóis descruzados. Foto 3) Opacos associados a hornblenda com inclusões de plagioclásio. Foto 4) Cristal de plagioclásio exibindo zoneamento metamórfico ao centro. Foto 5) Plagioclásio alterando para sericita. Foto 6) Plagioclásio com zoneamento metamórfico e hornblenda com inclusões de plagioclásio.....45

**Figura 13** – Foto 1) Afloramento de protomilonito (monzogranito pórfiro) com sua coloração creme-esbranquiçada e foliação subvertical. Foto 2) Contato entre ortognaisse pórfiro e protomilonito monzogranito pórfiro. ....46

**Figura 14** - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de protomilonito (monzogranito pórfiro). Foto 1) Ao centro porfiroclásto de feldspato potássico com maclas da albita-periclina (tartan) e inclusão de plagioclásio e muscovita envolto por matriz da granulação mais fina. Foto 2) Porfiroclastos de feldspato potássico e de plagioclásio, este ultimo com inclusão de quartzo. Foto 3) Cristais de epidoto, apatita e titanita associados a lamelas de biotita. Foto 4) Mesmo caso anterior com nicóis descruzados. Foto 5) Porfiroclasto de feldspato potássico com bordas de mirmequitas, porfiroclásto de plagioclásio com geminação do tipo albita e grande cristal de opaco (ilmenita). Foto 6) Ao centro, cristal de epidoto associado a folhas de biotita.....48

**Figura 15** – Foto 1) Vista geral do afloramento de protomilonito. Foto 2) Detalhe do afloramento onde se pode observar o cominamento dos cristais, bandamento composicional e processo de epidotização. Foto 3) Mudança granulométrica no afloramento devido maior grau do processo de cataclatização. Foto 4) Porfiroclastos de feldspato potássico sigmoidais indicando movimento dextral. ....49

**Figura 16** - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de protomilonito. Foto 1) Rocha 1 de granulação mais fina a nicóis cruzados. Foto 2) Mesma foto de antes à nicóis descruzados. Foto 3) Rocha 2 de granulação mais grossa com grandes cristais de quartzo alongados tipo “ribons” entre porções de feldspatos a nicóis cruzados. Foto 4) Mesma foto de antes a nicóis descruzados. Foto 5) Cristal de

zircão incluído na rocha 2 e associado a quartzo, plagioclásio e opacos. Foto 6)	
Mesma foto de antes a nicóis descruzados. ....	51
<b>Figura 17</b> - Afloramento de cataclasito onde é possível observar o bandamento composicional.....	52
<b>Figura 18</b> - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de cataclasito. Foto 1) Porfiroclastos de feldspato potássico ligeiramente rotacionados e fraturados envoltos por matriz de granulação mais fina. Foto 2) Cristais de quartzo anédricos alongados e fraturados por processos cataclásticos. Foto 3) Cristal de titanita e epidotos associados a folhas de muscovita e sericita. Foto 4) Lamelas de biotita por vezes alterando para muscovita. ....	53
<b>Figura 19</b> – Foto 1) Vista geral do afloramento de turmalina-clorita-gnaiss onde pode ser observada a foliação de alto ângulo. Foto 2 e 3) Cristais centimétricos de turmalina de variedade shorlita envoltos pela massa de clorita. Foto 4) Cristais de turmalina de variedade shorlita. ....	54
<b>Figura 20</b> - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de turmalina-clorita-gnaiss. Foto 1) Textura granoblástica, principalmente representada por cristais de plagioclásio e clorita. Foto 2) Fotomicrografia a nicóis descruzados mostrando flocos de clorita e plagioclásio alterando para sericita. Foto 3) Alterações de plagioclásio para clorita e plagioclásio para sericita. Foto 4) Massa de cloritas ao centro e flocos de muscovita. Foto 5) Cristais de rutilo com bordas alteradas para leucoxênio. Foto 6) Cristais de fluorapatita incluídos em plagioclásio. ....	56
<b>Figura 21</b> – Foto 1) Vista geral do afloramento de Cornubianito. Foto 2) Fotografia de detalhe do Cornubianito. Foto 3) Dique granítico contendo o Cornubianito a 40°Az.....	57
<b>Figura 22</b> - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de cornubianito. Foto 1) Cristais plagioclásio com textura granoblástica poligonizada do tipo hornfésica apresentando mimerquitas. Foto 2) Cristal de plagioclásio com geminação do tipo albita (Composta) associado a cristal mimerquitizado, ambos granoblásticos poligonizados. Foto 3) Cristais de actinolita aciculares cortando os porfiroblastos de plagioclásio e não orientados na matriz. Foto 4) Cristal de apatita anédrica. Foto 5) Cristal de monazita mitamictítico. Foto 6) Cristal de zircão associado actinolita e a opacos em meio a matriz de quartzo e plagioclásio.....	59
<b>Figura 23</b> – Foto 1) Vista geral do afloramento de Cálcio-Silicática. Foto 2) Foliação presente do afloramento de Cálcio-Silicática. ....	60

**Figura 24** - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de cálcio-silicática. Foto 1) Cristais de plagioclásio com zoneação metamórfica e geminação do tipo albita (composta) e calcsbad associando-se a cristais de epidoto. Foto 2) Cristal de clinopiroxênio bordejado por anfibólio e opacos associandos a cristais de epidoto. Foto 3) Cristal de hornblenda-tremolita ao centro em coloração azulada. Foto 4) Cristais de uralita, gerado a partir do processo de alteração do clinopiroxênio, associados a epidoto, quartzo e opacos.....61

**Figura 25** - Foto 1) Sienogranito pórfiro com fenocristais de feldspato potássico. Foto 2) Fenocristais de feldspato potássico singelamente zonados. Foto 3) Restito de monzonito de coloração acinzentada ao centro engolfado pelo sienogranito pórfiro. Foto 4) Granito fino associado a sienogranito pórfiro. Foto 5 e 6) Xenólitos de anfibolitos e “gnaisse” respectivamente. ....63

**Figura 26** – Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de sienogranito pórfiro. Foto 1) Textura porfirítica do feldspato potássico envolto por textura granular de quartzo, feldspato potássico e plagioclásio. Foto 2) Associação entre biotita, hornblenda e cpx com titanita alterando para ilmenita e cristal de zircão incluso em hornblenda. Foto 3 e 4) Cristais de apatita e de hornblenda alterando para cpx utilizando nicóis cruzados e descruzados respectivamente. Foto 5) Textura porfirítica do feldspato potássico com geminação calcsbad e matriz granular em cristais anédricos a subédricos de quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e cpx. Foto 6) Biotita formada a partir de hornblenda.....65

**Figura 27** – Foto 1) Afloramento de sienogranito pórfiro com enclaves de monzonito. Foto 2) Enclaves de monzonito. Foto 3) Fratura preenchida por anfibólio em monzonito. Foto 4) Veio pegmatítico, apresentando zonação com quartzo leitoso no centro e feldspato potássico nas bordas, cortando um afloramento de monzonito....66

**Figura 28** - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de monzonito. Foto 1 e 2) Contexto geral dos minerais presentes na sessão delgada onde pode-se ver ao centro um cristal de feldspato potássico com finos filmes de albita. Foto 3 e 4) Cristais de anfibólio e clinopiroxênios associados a biotita e opacos. Foto 5) Cristal de clinopiroxênio com restos de hornblenda e com lamelas de biotita produzidas ao final da alteração. Foto 6) Cristal de hornblenda alterando para biotita. ....68

**Figura 29** – Fotografia de pequeno bloco de Monzogranito. ....69

**Figura 30** - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de monzogranito. Foto 1 e 2) Textura em sua maioria inequigranular alotromorfica representada por cristais

de feldspato potássico e plagioclásio (por vezes albita) associados a cristais anédricos de quartzo. Foto 3) Cristais de feldspato potássico apresentando macla da albita-periclina (tartan) típica do microclínio e cristal de plagioclásio (albita) com macla polissintética simples. Foto 4) Mirmequitas em cristais de plagioclásio e de feldspato potássico. Foto 5) Cristais colunares de hornblenda e biotita lamelar. Foto 6) Cristais euédricos de titanita.....70

**Figura 31** – Foto 1) Diques de álcali-feldspato granito pórfiro alinhados a 35°Az. Foto 2) Fotografia de detalhe de amostra de álcali-feldspato granito pórfiro utilizada para confecção de lâmina petrográfica. ....71

**Figura 32** – Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de álcali-feldspato granito pórfiro. Foto 1) Fenocristal de feldspato potássico com geminação Albita-Periclina típica do microclínio apresentando inclusões de quartzo e pertitas e fazendo contato com matriz de granulação mais fina. Foto 2) Cristal de plagioclásio micropertítico com geminação calssbad. Foto 3 e 4) Cristais de epidoto anédrico e hornblenda de pleocroísmo verde-escuro associados a biotita. Foto 5) Alteração de hornblenda para biotita. Foto 6) Fenocristal de feldspato potássico anédrico com inclusão de feldspato potássico euédrico de hábito hexagonal sendo este último também incluso de cristal de quartzo e pertitas, esse conjunto contrasta com a matriz mais fina.....73

**Figura 33** – Foto 1) Parede da cava de mina de quartzo-sienito alterado e cortado por veios graníticos. Foto 2) Quartzo-sienito em contato com pegmatito à amazonita. Foto 3) Fotografia de detalhe de quartzo-sienito onde é possível observar os cristais de feldspato potássico em meio a matriz máfica composta de biotita e piroxênios. Foto 4) Amostra de quartzo-sienito não alterado demonstrando sua coloração escura. ....75

**Figura 34** – Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de quartzo-sienito. Foto 1 – Cristais de feldspato potássico pertíticos com geminação calssbad associado a quartzo, biotita de plagioclásio. Foto 2 – Cristal de cpx. Foto 3 e 4 – Cristais de biotita, titanita, epidoto, opaco (ilmenita) e zircão a nicóis cruzados e descruzados respectivamente. Foto 5 – Cristais de apatita e cpx associados a biotita a nicóis cruzados. Foto 6 – Cpx alterado para biotita. ....77

**Figura 35** – Foto 1) Principal ocorrência de dique de Pegmatito à Amazonita com sentido de mergulho de 280°Az aflorando no ponto 53. Foto 3) Ocorrência de

Pegmatito à Amazonita aflorando no ponto 19. Foto 4) Ocorrência de Pegmatito à Amazonita aflorando no ponto 45.....	79
<b>Figura 36</b> – Foto 1) Grandes cristais de microclínio esverdeados típicos do pegmatito à amazonita. Foto 2) Assembleia mineral presente no pegmatito à amazonita. Foto 3) “Zonação” presente no pegmatito à amazonita. Foto 4) Falha inversa basculando o conjunto pegmatito à amazonita x quartzo-sienito. Foto 5) Cristal de magnetita em pegmatito. Foto 6) óxidos de magnésio presentes no pegmatito à amazonita. ....	80
<b>Figura 37</b> – Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de pegmatito à amazonita. Foto 1) Contexto mineral geral da amostra em sessão delgada onde se observa cristais de feldspato potássico com traços de micriclínio e com inclusão de quartzo euédrico e neoforado ao longo de fraturas. Foto 2) Plagioclásio com geminação calssbad fazendo contato a esquerda com cristal de quartzo e a direita com o feldspato potássico. Foto 3 e 4) Biotita lamelar associada a hematita a quartzo e feldspato potássico. ....	81
<b>Figura 38</b> - Foto 1) Dobras ptigmáticas. Foto 2) Dobra intrafolial cerrada. Foto 3) Sequência de dobras antiforme-sinforme. Fotos 4 e 5) Dobras em “Z” indicando a cinemática dextral dos movimentos tectônicos. ....	83
<b>Figura 39</b> - Foto 1) Foliação de ortognaisse com atitude de 75°/140. Fotos 2 e 3) Foliação do protomilonito verticalizada e com trend para NE entre 35° e 40°. Foto 4) Rocha cálcio-silicática com foliação mergulhando 40° para 295° Az. ....	84
Figura 40 - Diagrama de polos dos planos de foliação mostra trend predominante de direção NE-SW e mergulhos de médio a alto ângulo variando entre 40° e 90°. ....	85
<b>Figura 41</b> - Foto 1) Cristal de feldspato potássico deformado por cinemática sinistral. Fotos 2 e 3) Cristais de feldspato potássico deformados por cinemática dextral. Foto 4) Nódulos de anfibólio apresentando boudinagem. ....	86
Figura 42 - Lineamento mineral com direção principal NE-SW variando entre 30° e 40° Az.....	86
<b>Figura 43</b> - Diques de álcali-feldspato-granito a 30° e 33° Az no nordeste da área. ....	87
<b>Figura 44</b> - Foto 1) Dique de àlcali-feldspato-granito a 33°Az próximo a afloramento de ortognaisse. Foto 2) Diques pegmatíticos quartzo-feldspáticos a 40°Az cortando afloramento de anfibolito. Foto 3) Dique de amazonita a 130°Az próximo a Mina Amazon. Foto 4) Dique granítico a N-S em uma das paredes da Mina Amazon. ....	88

<b>Figura 45</b> - Diagrama de roseta dos diques da região com direção principal NE-SW variando entre 30° e 40°.....	88
<b>Figura 46</b> - Foto 1) Fratura sem preenchimento a 125°Az cortando afloramento de ortognáisse. Foto 2) Veios de quartzo a 110°Az cortando rocha cálcio-silicática. Foto 3) Famílias de fraturas, uma NW-SE e outra NE-SE, formam ângulo de 85° entre si. ....	89
<b>Figura 47</b> - Foto 1) Falha inversa em dique de pegmatito à amazonita na Mina Amazon. Foto 2) Falha inversa em quartzo-sienito em uma das paredes da mina. Foto 3) Detalhe dos diques quartzo-feldspáticos que cortam o quartzo-sienito e evidenciam cinemática dextral. ....	90
<b>Figura 48</b> - Diagramas de roseta das fraturas não preenchidas (acima) e fraturas preenchidas por veios (abaixo) mostram direção principal NW-SE.....	91
<b>Figura 49</b> – Fotomicrografia de sessão delgada de amostra de ortognáisse pórfiro demonstrando a matriz de cristais de quartzo e feldspato potássico recristalizada poligonizada. ....	93
<b>Figura 50</b> – Fotomicrografia de cálcio-silicática mostrando a associação de cristais de epidoto e cristais de clinopiroxênio.....	94
<b>Figura 51</b> – Fotomicrografia de sessão delgada de cornubianito demonstrando a textura poligonizada tipo hornsfélsica e associação de albita e hornblenda (actinolita).....	95
<b>Figura 52</b> – Fotomicrografia de sessão delgada de turmalina-clorita-gnaisse demonstrando a coexistência de cristais de rutilo com folhas de clorita, indicando assim o retrometamorfismo do litotipo.....	95
<b>Figura 53</b> – Fotomicrografias de sessão delgada de protomilonito, protomilonito (monzogranito pórfiro) e cataclasito demonstrando características do metamorfismo Mn +1. Foto 1) Cristais de quartzo tardios do tipo “ribons” e com extinção ondulante em protomilonito; Foto 2) Cristais de quartzo com extinção ondulante em meio a matriz recristalizada e foliação marcada por lamelas de biotita em protomilonito (monzogranito pórfiro); Foto 3) Porfiroclastos de feldspato potássico e cristais de quartzo com extinção ondulante e fraturados em meio a matriz recristalizada em cataclasito. ....	97
<b>Figura 54</b> - Diagrama P e T para o evento metamórfico Mn’ Transamazônico. Modificado de Nelson (Website).....	98

<b>Figura 55</b> - Diagrama P e T para o evento metamórfico Mn + 1 Brasileiro. Modificado de Nelson (Website).....	98
<b>Figura 56</b> - Modelos geológicos de evolução da porção leste do Domínio Rio Piranhas-Seridó com destaque a porção referente a evolução que ocorre na área de mapeamento. A) situação pré-deformação e magmatismos brasileiros (ediacaranos): B) situação atual. ZC = zona de cisalhamento (modificado de Medeiros et al. 2013). .....	102
<b>Figura 57</b> - Bloco de Amazonita (nome comercial) da empresa Granistone S.A....	104
<b>Figura 58</b> – Turmalina de variedade shorlita em turmalina-clorita-gnaïsse. ....	105
<b>Figura 59</b> – Planta da mina atualizada a partir do software AutoCAD.....	106
<b>Figura 60</b> - a) Vista geral das bancadas da mina; b) Bancada com aproximadamente 2 metros; c) Geometria em “L” das bancadas; d) Gaveta. ....	107
<b>Figura 61</b> – a) Instalação do fundo-furo com ajuda da retroescavadeira; b e c) Fundo-furo perfurando as bancadas para posterior corte com fio diamantado. ....	109
<b>Figura 62</b> – a) Perfuração de bancada utilizando martelo-rotopneumático na horizontal; b) Perfuração de bancada utilizando martelo-rotopneumático na vertical; c) Hastes utilizadas para perfuração com martelo-rotopneumático; d) Pó branco saindo da bancada indicando que a perfuração está no pegmatito à amazonita. ...	109
<b>Figura 63</b> – A) Preparação de corte de bancadas com fio diamantado e auxílio de sistema de polias; B) Corte latitudinal em bancada utilizando fio diamantado; C) Corte longitudinal em bancada utilizando fio diamantado. ....	110
<b>Figura 64</b> – a) Posicionamento das guias na bancada para abertura de espaço na bancada; b) Hidro bag ; c) Air pillow.....	112
<b>Figura 65</b> – Tombamento do bloco. Os cabos de aço são presos ao redor do bloco e este é transportado até o pátio de blocos. ....	112
<b>Figura 66</b> – Desenho com gis de cera no bloco com auxílio de esquadro para definir locais aonde serão realizados os cortes finais. ....	113
<b>Figura 67</b> – Pátio de blocos e bloco sendo cortado com auxílio da máquina de fio diamantado.....	114
<b>Figura 68</b> – Etapa de marcação de blocos que serão selecionados pela empresa compradora. ....	115
<b>Figura 69</b> – Processo de envelopamento de blocos onde é possível notar a pasta logo abaixo da tela trançada. ....	116

<b>Figura 70</b> – Blocos colocados organizadamente e devidamente calçados no container.....	117
<b>Figura 71</b> – Container sendo colocado no caminhão com auxílio da carregadeira. Após essa etapa o container é levado aos portos onde será embarcado até chegar no local de destino. ....	117
<b>Figura 72</b> – a) Pilhas de gravel; b) Detalhe do gravel.....	118

## Sumário

AGRADECIMENTOS .....	4
RESUMO.....	6
ABSTRACT .....	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
1 INTRODUÇÃO .....	20
1.1 Apresentação.....	20
1.2 Localização e acesso.....	21
2. OBJETIVOS .....	22
3. GEOLOGIA REGIONAL .....	23
3.1 Província Borborema .....	23
3.1.1 Evolução da Província Borborema .....	23
3.2 Domínio Rio Grande do Norte (DRGN).....	25
3.3 Terreno Rio Piranhas-Seridó .....	25
3.3.1 Complexo Caicó .....	26
3.3.2 Suíte Magmática Poço da Cruz.....	27
3.4 Magmatismo Ediacarano .....	28
3.4.1 Suíte Intrusiva Itaporanga .....	28
3.4.2 Suite Intrusiva Dona Inês .....	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	31

5. SENSORIAMENTO REMOTO .....	32
6. GEOLOGIA LOCAL.....	35
6.1 Introdução .....	35
UNIDADES PALEOPROTEROZÓICAS .....	37
6.2 Ortognaisse Pórfiro .....	37
6.3 Anfibolitos e Plagioclásio-Anfibolito .....	40
UNIDADES NEOPROTEROZÓICAS.....	46
6.4 Protomilonito ( Monzogranito Pórfiro) .....	46
6.5 Protomilonito .....	48
6.6 Cataclasito .....	52
6.7 Turmalina-Clorita-Gnaisse .....	54
6.8 Cornubianito.....	56
6.9 Cálcio-Silicática.....	59
6.10 Sienogranito Pórfiro .....	61
6.11 Monzonito .....	65
6.12 Monzogranito .....	68
6.13 Diques de Alkali-Feldspato Granito Pórfiro .....	71
6.14 Quartzo-Sienito .....	74
6.15 Pegmatito à Amazonita .....	77
7. GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	82
7.1 Fase Dúctil .....	82
7.1.1 Dobras.....	82
7.1.2 Foliações .....	83
7.1.3 Sigmóides de deformação e boudins .....	85
7.2 Estruturas rúpteis.....	87
7.2.1 Diques .....	87
7.2.2 Falhas e Fraturas .....	89

8. METAMORFISMO.....	92
8.1 Metamorfismo regional (Mn') .....	92
8.1.1 Matriz poligonizada e recristalizada .....	92
8.1.2 Ortognaisse pórfiro .....	92
8.2 Metamorfismo de contato.....	93
8.2.1. Cálcio-silicáticas.....	94
8.2.2. Cornubianito .....	94
8.2.3 Turmalina-clorita-gnaisse .....	95
8.3 Metamorfismo dinâmico (Mn + 1).....	96
8.3.1 Extinção ondulante .....	96
8.3.2 – Protomilonitos e cataclasito .....	96
8.4 Diagrama P e T.....	97
9. LITOESTATIGRAFIA.....	99
10. EVOLUÇÃO GEOLÓGICA .....	100
11. RECURSOS MINERAIS E ÁREAS POTENCIAIS.....	102
11.1 Pegmatitos à Amazonita .....	102
11.2 Turmalina (schorlita) .....	104
12. PROCESSOS DE EXTRAÇÃO E VENDA DE ROCHAS ORNAMENTAIS .....	106
12.1 Atualização da Planta da Mina Amazon .....	106
12.2 Tipo de Bancadas .....	106
12.3 Técnicas de Perfuração .....	107
12.4 Técnicas de Corte de Bancadas .....	109
12.5 Abertura e Tombamento de Bancadas .....	110
12.6 Corte de blocos.....	113
12.7 Marcação de blocos.....	114
12.8 Envelopamento .....	115

12.9 Retirada e transporte de blocos .....	116
12.10 Transporte do rejeito .....	117
12.11 Reaproveitamento do rejeito – pátio de <i>gravel</i> .....	118
13. CONCLUSÕES .....	119
14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	122

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Apresentação

O presente trabalho surge da oportunidade de associa-lo às atividades de estágio que um dos autores realizou em uma área de 2 Km<sup>2</sup>, referente a Mina Amazon, requerida pela empresa *Granistone S.A* no município de Vieirópolis/PB, inserida na Folha Souza e onde se realiza mineração de rochas ornamentais, no caso, a “Amazonita”, um material que é comercializado nacional e internacionalmente. Essa experiência possibilitou a geração de um trabalho que traz a realidade dos processos de produção e venda de rochas ornamentais associado àquilo que é tradicional em um estudo geológico, tal como mapeamento geológico e caracterização petrográfica dos corpos ígneos e metamórficos para a elaboração do relatório final. O detalhamento geológico local é necessário para entender quais são os controles geológicos e estruturais que possibilitam a formação de diques de pegmatitos a amazonita de tamanho suficiente para extração de blocos de rocha para uso ornamental. Os corpos granitoides são oriundos do chamado Magmatismo Ediacarano, aqui representados pelas Suites Dona Inês e Suite Itaporanga, enquanto os corpos metamórficos são pertencentes ao denominado Complexo Caicó.

A composição dos corpos ígneos varia desde o próprio pegmatito à amazonita explorado como rocha ornamental bem como álcali-feldspatos granitos a monzonitos que afloram no restante da área, de diversas cores e texturas. Dentre os corpos metamórficos ocorre uma grande variação de litotipos de composição e texturas diferentes, tais rochas variam desde ortognaisses mineralizados em turmalina, passando por anfibolitos e calcio-silicáticas bem como milonitos e cataclasitos. Estruturalmente a região é marcada por falhas e zona de cisalhamento de direção NE-SW.

## 1.2 Localização e acesso

A área de estudo está localizada no extremo oeste do estado da Paraíba, Nordeste do Brasil, cerca de 4km a norte do município de Veirópolis e também 30km a norte do município de Souza.

Veirópolis está localizada próxima à fronteira com o Rio Grande do Norte, tem como limite a oeste os municípios de Uiraúna e São João do Rio do Peixe, e limite a leste o município de Lastro. Ao sul faz limite com o município de Sousa e a norte com o de Tenente Ananias (Rio Grande do Norte - RN).

Partindo de Fortaleza, segue-se pela via BR-116, no sentido sul, até o município de Morada Nova, onde se tem acesso à rodovia CE-265 onde se toma o sentido leste para Limoeiro do Norte até encontrar a BR-116 que em seguida se torna CE-138 onde se toma o sentido do município de Ereré. A saída do município de Ereré se dá pela BR-226 até o município de Pau dos Ferros a partir do qual se tem acesso a Uiraúna pela BR-405 e em seguida à Veirópolis pela PB-387.

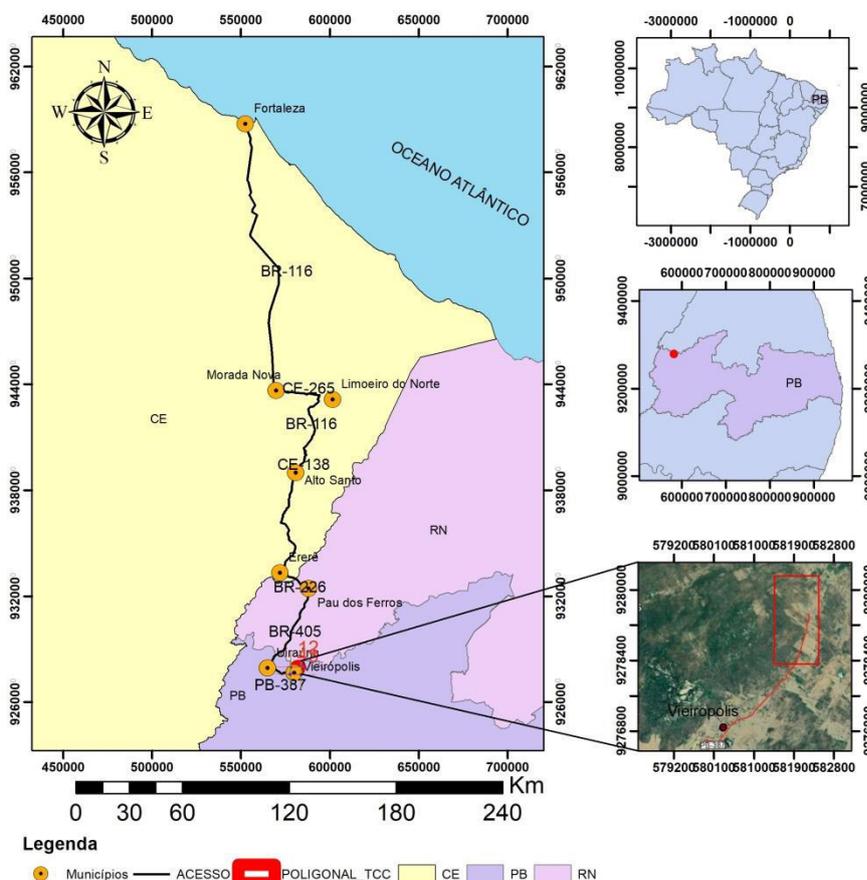


Figura 1 - Mapa de acesso da área de estudo.

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal o mapeamento geológico, análise estrutural e o estudo petrográfico dos corpos graníticos e metamórficos localizados na área de 2Km<sup>2</sup> requerida pela empresa *Granistone S.A* referente à Mina Amazon onde ocorre a extração de blocos de pegmatito à amazonita para fins ornamentais. Também faz parte dos objetivos apresentar as etapas e processos de produção utilizados na Mina Amazon, em que a partir desses processos se possibilita a extração para venda de blocos de pegmatito à amazonita para fins ornamentais.

O estudo por meio do mapeamento geológico e análises petrográficas tem também como finalidade conhecer melhor como a rocha utilizada para fins ornamentais esta relacionada com a geologia da região.

### 3. GEOLOGIA REGIONAL

A área em estudo está inserida em terrenos tectono-estratigráficos do Domínio Rio Grande do Norte, os quais compreendem uma série de segmentos crustais com idades arqueanas a proterozóicas, inseridos na porção central da Província Borborema.

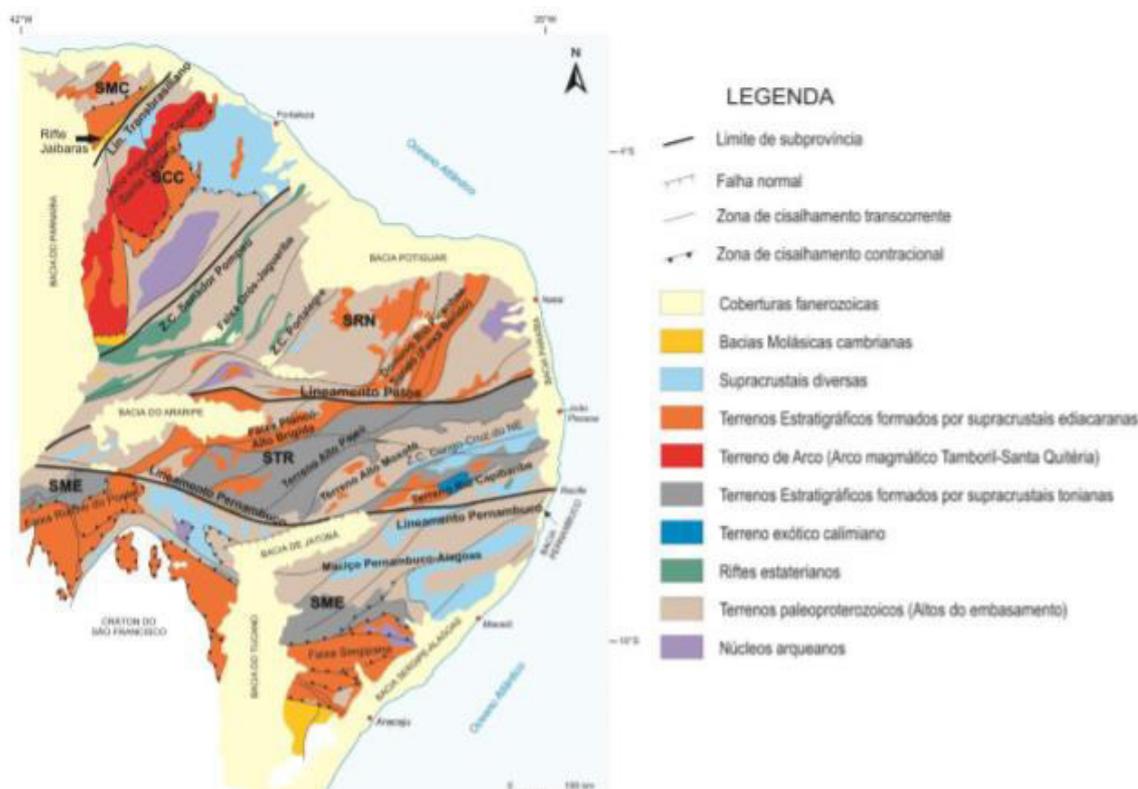
#### 3.1 Província Borborema

A Província Borborema (Figura 2) abrange uma área em torno de 400.00 Km<sup>2</sup> (Almeida *et al.*1977) compreendendo quase todos os Estados da Região Nordeste do Brasil, com exceção do Estado do Maranhão. Limita-se ao norte e a leste por bacias meso-cenozóicas do Oceano Atlântico e a oeste pela Bacia intracratônica paleozóica-mesozóica do Parnaíba e a sul pelo Cráton São Francisco. Santos *et al* (2014) divide a Província Borborema em diferentes domínios, tais como: Domínio Médio Coreaú, Domínio Ceará Central, Domínio Rio Grande do Norte, Domínio Transversal e Domínio Meridional. Constitui-se como uma zona bastante afetada pelo ciclo Brasileiro, onde houve um intenso magmatismo gerando stocks e batólitos, além de formação de importantes depósitos minerais de Be, Ta e Li associados a pegmatitos, e de W e Mo associados a skarns bem como importantes áreas potenciais para lavra de rochas ornamentais.

##### 3.1.1 Evolução da Província Borborema

Para Brito Neves *et al.* (2000), a estruturação tectônica e litoestrutural da Província Borborema foi desenvolvida, principalmente, durante a evolução de dois ciclos tectônicos diferentes, a orogenia Cariris Velhos e a orogenia Brasileira. As impressões tectônicas brasileiras são de suma importância para a distribuição geral dos principais trends estruturais da província, estes trends têm direção NE-SW e exibem um leque de padrões por todo o nordeste da América do Sul. Para o entendimento da evolução dessa província, é necessário conhecer os vários processos que ocorreram paralelamente com a quebra da Pangeia, formação do oceano Atlântico e a individualização final do escudo da América do Sul, como as coberturas Fanerozoicas, as fases de transição, estabilização e ativação. Paralelamente com a quebra de Pangeia e a formação do oceano Atlântico, o interior do continente foi submetido à erosão e “uplift” (fase de re-estabilização), gerando-se depósitos sedimentares associados fortemente com os trends estruturais de direção nordeste do ciclo Brasileiro. As formas e estruturas gerais destas bacias

foram fortemente influenciadas pelas estruturas do embasamento subjacente e, particularmente, por estes trends desenvolvidos durante o tectonismo Brasileiro. Associado a este processo são reconhecidos cinco principais domínios tectônicos na Província Borborema. Apesar de que a maioria dos limites destes domínios compreendam lineamentos ou zonas de cisalhamento, estes não são as principais características das subdivisões (Brito Neves *et al.* 2000 e referências nele citadas). Santos (1996) percebeu que, na Província Borborema, ocorrem corpos rochosos de extensão regional, separados por grandes falhas e zonas de cisalhamento. Estes corpos se individualizam um dos outros por vários fatores como petrografia, geocronologia, geoquímica e geofísica. Inicialmente foram definidos para a Província Borborema vinte terrenos tectonoestratigráficos. A divisão tectônica utilizada neste trabalho será a adotada por Santos *et al.* (2014), na qual os autores separam a Província Borborema em cinco domínios tectônicos nomeados de norte a sul em: (1) domínio Médio Coreaú (DMC), a oeste do Lineamento Transbrasileiro, no noroeste do estado do Ceará, (2) domínios Ceará Central (DCC) e (3) Rio Grande do Norte (DRN), na área central e leste do estado do Ceará e no estado do Rio Grande do Norte, respectivamente, (4) domínio Transversal (DTR), entre as zonas de cisalhamento Patos e Pernambuco, e (5) Domínio Meridional (DME) a sul da zona de cisalhamento Pernambuco. A área de estudo situa-se no domínio Rio Grande do Norte.



**Figura 2** Compartimentação tectonoestratigráfica da Província Borborema, modificado de Santos et al., 2014. SMC = Subprovincia Médio Coreáú, SCC = Subprovincia Ceará Central, SRN = Subprovincia Rio Grande do Norte, STR = Subprovincia Transversal, SME = Subprovincia Meridional.

### 3.2 Domínio Rio Grande do Norte (DRGN)

O Domínio Rio Grande do Norte (DRGN) é formado pelos terrenos Rio Piranhas-Seridó, Granjeiro e São José do Campestre, sendo limitado a oeste pela Zona de Cisalhamento Portalegre e a sul pelo Lineamento Patos.

O DRGN foi formado pela colagem e amalgamento de fragmentos crustais envolvendo núcleos arqueanos, blocos gnáissicos migmatíticos de idade paleoproterozoica e sequências supracrustais paleo a neoproterozoicas durante a orogênese Brasiliana. Todo esse conjunto de fragmentos crustais foi afetado por intrusões graníticas de idade Brasiliana, geralmente associadas a extensas zonas de cisalhamento transcorrentes (Jardim de Sá, 1995; Van Schmus *et al.*, 1995; Vauchez *et al.*, 1995; Brito Neves *et al.*, 2000).

No presente estudo daremos atenção somente ao Terreno Rio Piranhas-Seridó, no qual está inserida a área de estudo.

### 3.3 Terreno Rio Piranhas-Seridó

O Terreno Rio Piranhas-Seridó constitui uma vasta área paleoproterozóica retrabalhada no ciclo Brasiliano. Posiciona-se entre as zonas de

cisalhamento Portoalegre no limite leste e Picuí-João no limite oeste. Nesse contexto foram cartografados como pertencentes a esse terreno os litotipos do Complexo Caicó, Suíte Poço da Cruz, Grupo Seridó e granitoides ediacarianos (Medeiros,2008). O terreno é constituído predominantemente por rochas ortoderivadas na fácies anfíbolito alto. Dantas (1992) e Ferreira (1997) consideram o Complexo Caicó e a Suíte Poço da Cruz como um arco magmático transamazônico.

Segundo Hackspacher *et al.* (1986) e Dantas (1992), este terreno foi alvo de três fases de deformação progressiva durante o Transamazônico, que gerou estruturas na direção NW-SE. A fase segunda fase é a mais proeminente, sendo responsável pelo bandamento gnáissico e pela formação de dobras isoclinais recumbentes e inclinadas. A terceira fase foi mais penetrativa, produzindo dobras normais abertas ou fechadas, com intrafoliais associadas, isoclinais e recumbentes. Essa trama paleoproterozóica foi redefinida por novas fases de deformação durante o Neoproterozóico, que produziram estruturas de *trend* predominantemente NE-SW. De acordo com Dantas (1992), várias fases de deformação desenvolveram-se em resposta a uma mudança progressiva do regime contracional para o essencialmente transcorrente, sendo representada por zonas de cisalhamento dextrais, às quais se associam dobras abertas normais e inclinadas.

Somente ao Complexo Caicó, à Suíte Poço da Cruz e às suítes do magmatismo ediacarano será dado ênfase por englobar a região, objeto de estudo, desta forma serão os únicos abordados nos itens subsequentes.

### **3.3.1 Complexo Caicó**

As formulações acerca do Complexo Caicó remontam desde os trabalhos de Meunier (1964) e Ferreira & Albuquerque (1969) realizados nas proximidades da cidade homônima. O Complexo Caicó (paleoproterozóico) consiste em ortognaisses equigranulares ou augen, anfíbolitos, rochas metavulcânicas e metassedimentares (Jardim de Sá,1994). Constitui a unidade dominante no Terreno Rio Piranhas, tendo sido usualmente referida em outros trabalhos como um complexo gnáissico-migmatítico.

Segundo Dantas (1992), trata-se de uma suíte calcialcalina granodiorítica (médio K). Segundo Jardim de Sá (1994) as metaplutônicas do Complexo Caicó constituem produtos de magmas juvenis extraídos de cunhas do manto,

metassomatizado e enriquecido acima de zonas de subducção, os quais promoveram a sucessiva aglutinação destes arcos.

Legrand et al. 1991 e Legrand et al. 1997, determinaram idades U-Pb em zircão com valores de  $2.242 \pm 6$  Ma e  $2.250 \pm 9,1$  Ma, interpretadas, respectivamente, como idades de cristalização dos protólitos dos ortognaisses. Foram obtidas idades de  $2.156,1 \pm 5,6$  Ma em biotita augen gnaisse granodiortico,  $2.151,7 \pm 7,6$  Ma em metagabro e  $2.146,5 \pm 4,4$  Ma em hornblenda-biotita ortognaisse tonalítico, interpretadas como idades de cristalização das rochas do Complexo Caicó que são diretamente associadas a deformação transamazônica (Dantas, 1992).

### **3.3.2 Suíte Magmática Poço da Cruz**

Essa terminologia foi utilizada por Ferreira (1998) para englobar a suíte referida originalmente como granitos G2 por Jardim de Sá *et al.* (1981). Consiste em uma associação de metagranitóides principalmente de textura augen, de composição granítica a quartzo-monzonítica. Afloram de forma mais abundante na parte leste do terreno, como intrusões alongadas irregulares que acompanham os *trends* do episódio contraccional que afetou grande parte dos complexos São Vicente e Caicó nessa área. Podem apresentar enclaves de metadioritos de textura granoblástica fina, coloração cinza escura e preta possuindo biotita e anfibólio como minerais máficos essenciais.

A idade Orosiriana para esta suíte foi confirmada a partir de uma datação U-Pb em zircão de  $1934 \pm 12$  Ma obtida por Legrand *et al.* (1991) em augen gnaises da região de Angicos (RN) e uma idade Pb-Pb em zircão de  $1990 \pm 10$  Ma obtida por Jardim de Sá (1994) em augen gnaises posicionados a nordeste de Cerro Corá (RN). Estas duas áreas estão localizadas a leste-nordeste da Folha Sousa.

Os granitos G2 foram interpretados por Jardim de Sá *et al.* (1981) e Macedo *et al.* (1984) como sendo colisionais transamazônicos, mas Caby & Arthaud (1986) advogam para os mesmos uma origem anorogênica paleoproterozoica, cuja deformação teria ocorrido posteriormente, durante a orogênese Brasileira (Neoproterozoica).

### 3.4 Magmatismo Ediacarano

O magmatismo Ediacarano (Brasiliano) pode ser observado na Folha Sousa sendo representado por corpos com dimensões e formas variadas (diques, stocks e batólitos), constituindo-se diversos tipos de granitóides. Sobre este magmatismo podem ser observados os trabalhos dos seguintes autores: Galindo (1982), Gonzalez (1984), Jardim de Sá *et al.* (1986), Sial (1986), McMurry *et al.* (1987a, b, c), Galindo (1993), Galindo *et al.* (1995), Jardim de Sá (1994), Ferreira *et al.* (1998), Nascimento *et al.* (2000) e Magini (2001).

A nomenclatura a ser utilizada para as suítes brasileiras cartografadas no trabalho segue a padronização estabelecida pela Comissão de Nomenclatura Estratigráfica (CNE) da CPRM e aplicada por Angelim *et al.* (2004).

No presente trabalho apenas serão citadas a Suíte Intrusiva Itaporanga e a Suíte Intrusiva Dona Inês por estarem no contexto local da área de estudo.

#### 3.4.1 Suíte Intrusiva Itaporanga

Segundo CPRM (2018) no relatório da Folha de Sousa os litotipos atribuídos como pertencentes a esta suíte são granitos, granodioritos e quartzo monzonitos porfíricos (com fenocristais de feldspato que podem atingir entre 2 cm a 5 cm de comprimento) essencialmente leucocráticos, podendo mais raramente ser observados com textura granoblástica grossa. É importante ressaltar que não é rara a presença de dioritos/quartzo dioritos dentro de corpos desta suíte devido processo de coexistência de mistura de magmas. Podem ser cortados por diques de granitos finos leucocráticos, provavelmente integrantes da Suíte Intrusiva Dona Inês.

CPRM (2018) obteve determinações litogeoquímicas em três fácies do batólito de Catolé do Rocha, bem como em termos dioríticos ali presentes, que confirmaram os vários trabalhos da bibliografia que definem esta suíte como do tipo calcialcalina de alto potássio.

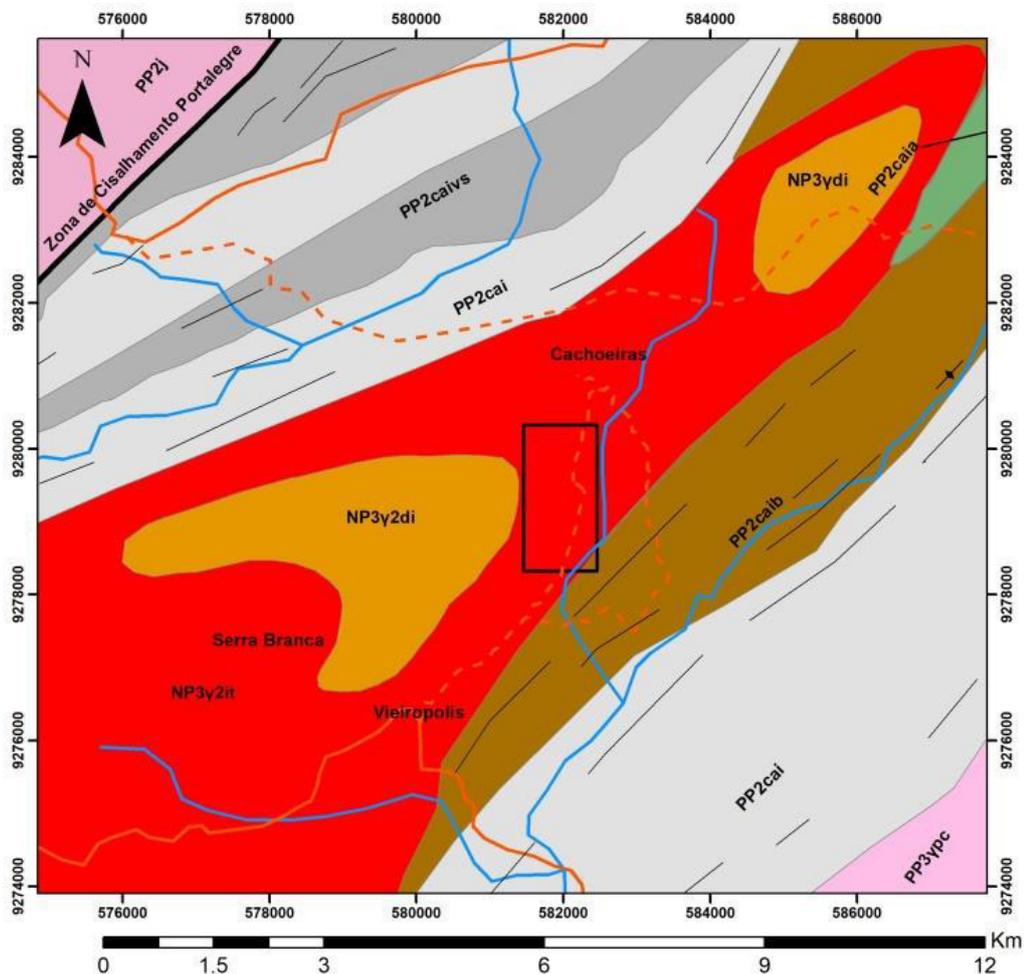
As idades determinadas geocronologicamente (U-Pb em zircão) foram obtidas por Trindade *et al.* (1999) no granitóide de Caraúbas-RN ( $574 \pm 10$  Ma) e no de Tourão-RN ( $580 \pm 4$  Ma) os quais afloram na porção nordeste da Folha Sousa., o que corrobora com as idades obtidas por Galindo *et al.* (2005) que pelo mesmo método obteve idades de  $573 \pm 7$  Ma para o granito de Monte das Gameleiras (RN/PB) e  $576 \pm 3$  Ma para o granito de Serrinha (RN) a oeste da Folha Sousa. CPRM (2018) também obteve idades aproximadas através de uma datação U-Pb em

zircão de 571 Ma realizada na fácies Brejo dos Santos do Batólito de Catolé do Rocha-RN/PB.

### **3.4.2 Suíte Intrusiva Dona Inês**

Os principais corpos representantes dessa suíte são os de Capuxu (PB) e o batólito de Luiz Gomes (RN). Normalmente são biotita monzogranitos finos a médios, leucocráticos (por vezes holocráticos) cinza claro com algumas fácies contendo granada e/ou muscovita. Podem ocorrer na forma de diques de composição sienogranítica, intrusivos nas suítes Itaporanga, sendo considerados termos tardios do magmatismo brasileiro.

Dados de campo e litogeoquímicos permitem correlacionar estes litotipos com a suíte K-calcioalcalina equigranular descrita por Nascimento *et al.* (2000). Estudos geocronológicos desta suíte indicam a idade de  $544 \pm 16$  Ma (Rb-Sr) a partir de datação do Plúton de Dona Inês (PB), obtida por McMurry *et al.* (1987).



### Convenções Cartográficas

- Estrada Carroçal
- Foliacão
- Rodovia
- Drenagem
- ZC Portalalegre
- ↗ Foliacão Vertical
- Poligonal da área de TCC

### LITOLOGIA

- NP3ydi - Suite Dona Inês
- NP3y2it - Suite Itaporanga
- PP2cao2 - Complexo Caico
- PP2caia - Complexo Caico
- PP2caivs - Complexo Caico
- PP2caib - Complexo Caico
- PP2cao - Complexo Caicó
- PP3Ypcg - Suite Poço da Cruz
- PP2j - Complex Jaguaretama

Figura 3 - Recorte da Folha Sousa (Medeiros et.al. 2008), com modificação e representação da área de estudo na escala 1:50.000.

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a realização deste trabalho desenvolveu-se um conjunto de atividades, dentre as quais se destacam:

1 – Levantamento bibliográfico e cartográfico – Levantamento bibliográfico da região de estudo, relatórios, mapas base, imagens de satélite (Landsat8 e SRTM) processados nos softwares ENVI 4.8 e ArcGIS 10.2.2.

2 – Mapeamento geológico e coleta de amostras – Descrições dos afloramentos ao longo das estradas e caminhos, medidas de estruturas e coletas de amostras para análises petrográficas.

3 – Petrografia – Após as etapas de campo as amostras foram encaminhadas para a fabricação de sessões delgadas. As 17 lâminas petrográficas foram confeccionadas no laboratório da CPRM.

4 – Etapa final – Confeção do documento final.

## 5. SENSORIAMENTO REMOTO

Na etapa de sensoriamento remoto foi empregada uma imagem multiespectral do sensor OLI\_TIRS presente no satélite Landsat 8 e uma imagem SRTM. As imagens foram adquiridas de forma gratuita no site do U.S Geological Survey (USGS) <http://earthexplorer.usgs.gov/>. A imagem Landsat8 foi obtida em um período de seca, o que facilita a obtenção de informações geológicas a partir do tratamento da imagem devido a não interferência de muitas nuvens e vegetação abundante.

O sensoriamento remoto se dividiu em três etapas, uma de extração de informações a partir da imagem SRTM, outra de tratamento da imagem Landsat 8 e uma de geração de Modelo Digital de Terreno (MDT) com as duas imagens. Na primeira etapa conseguiu-se extrair a partir da imagem SRTM curvas de nível, drenagem e foliação (Figura 5). Para a etapa de tratamento da imagem, realizaram-se dois processos, o primeiro deles foi a geração de imagem de Composição Colorida 5R4G3B (Red, green, blue) a partir de Processamento Digital de Imagem (PDI) (Figura 4). Para a etapa de geração do MDT (Figura 6) foi necessário fundir a imagem SRTM da área com a imagem de composição 5R4G3B, de forma que os dados altimétricos ficam correlacionados com os dados do tratamento da imagem. Os três processos foram todos realizados no software ENVI 4.8 com posterior complementação no software ArcGIS 10.2.2.

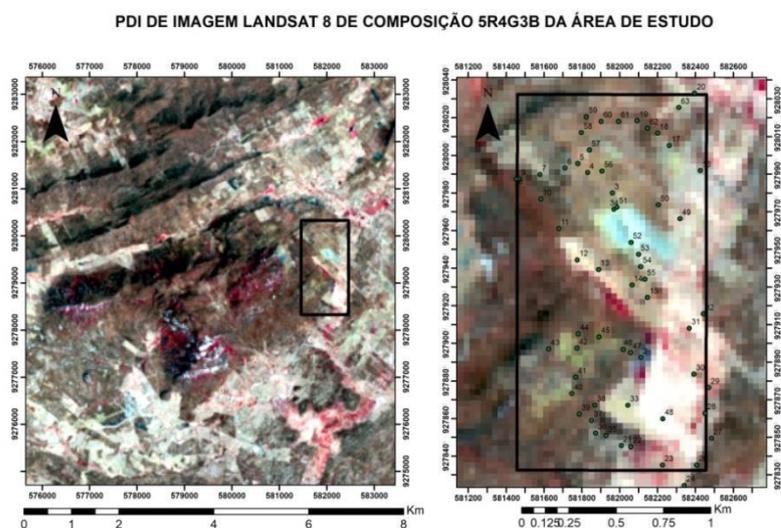
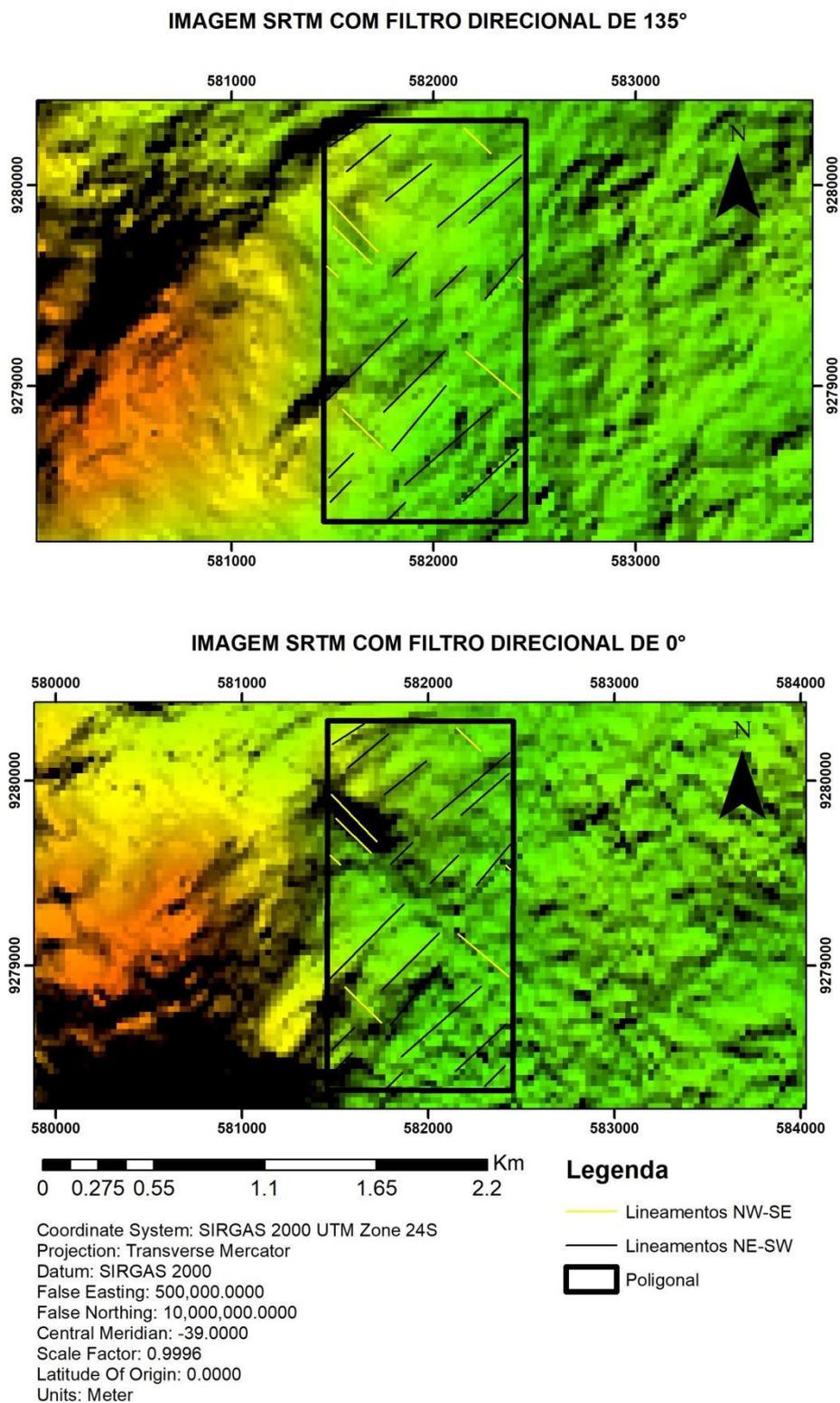


Figura 4 – PDI de imagem landsat 8 de composição 5R4G3B da área de estudo.



**Figura 5 – Mapas de imagem SRTM destacando a área de estudo onde foi possível extrair lineamentos associados à foliação NE-SW e lineamentos NW-SE com filtros direcionais de 135° e 0°.**

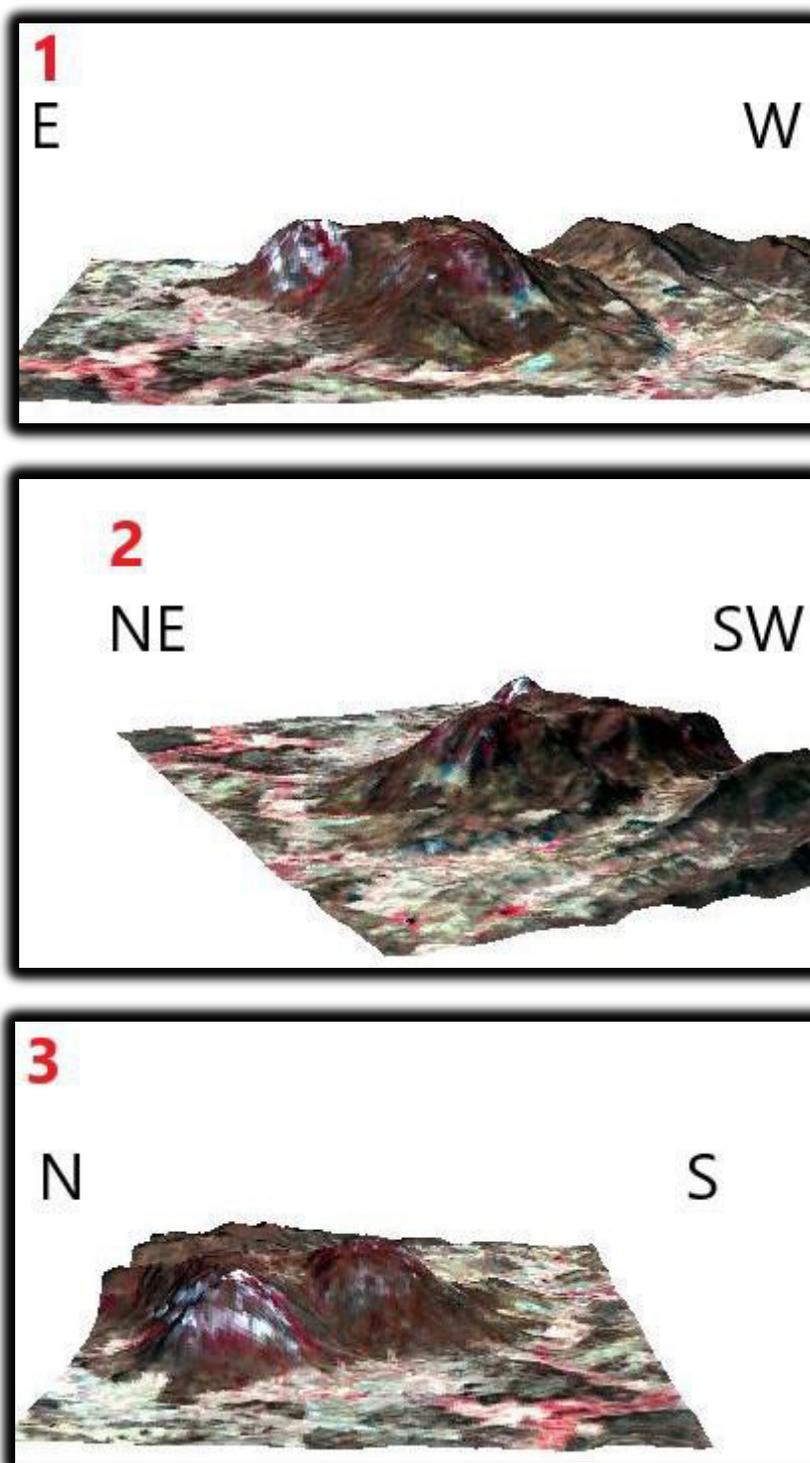


Figura 6 – Modelos Digitais de Terreno. 1) MDT com vista E-W; 2) MDT com vista NE-SW; 3) MDT com vista N-S.

## 6. GEOLOGIA LOCAL

### 6.1 Introdução

A área mapeada exhibe uma variedade de rochas granitóides K-cálcioalcalinas segundo descrita por Nascimento *et al.* (2000). Os granitóides mapeados fazem parte da porção inferior da chamada Serra Branca onde estão as menores curvas de nível, se mostram como corpos intrusivos na porção oeste da área mapeada e gradam para rochas metamórficas gnáissicas, miloníticas e cataclásticas na porção leste. Inseridos nesse contexto tem-se rochas anfibolíticas e cálcio-silicáticas na forma de lentes. Diques ocorrem espalhados em toda a área mapeada e os de pegmatito à amazonita são encontrados intrudindo rochas granitóides e anfibolíticas nas porções norte e sul da área. A etapa de geologia local possibilitou a elaboração do mapa geológico final (Figura 7).

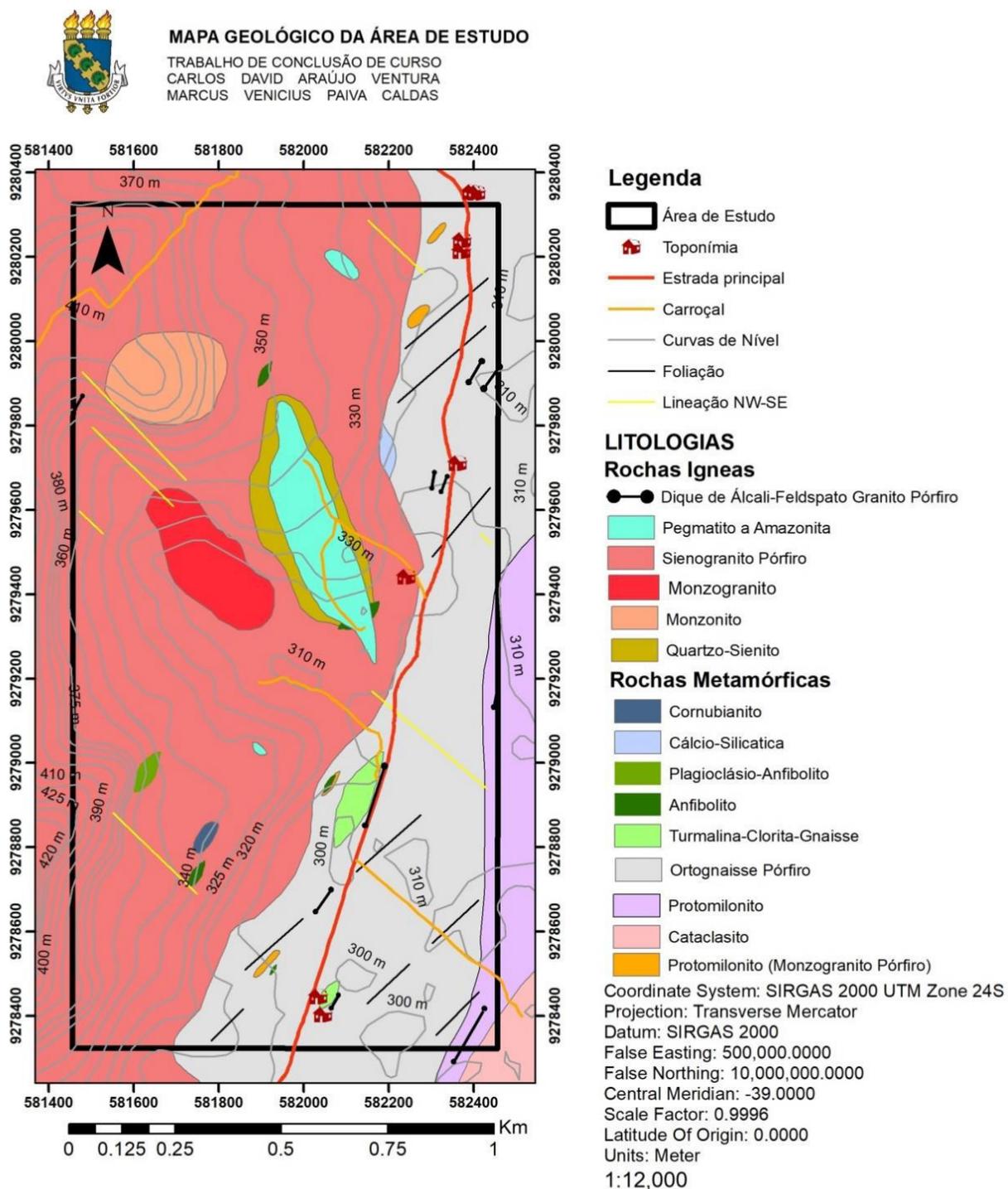
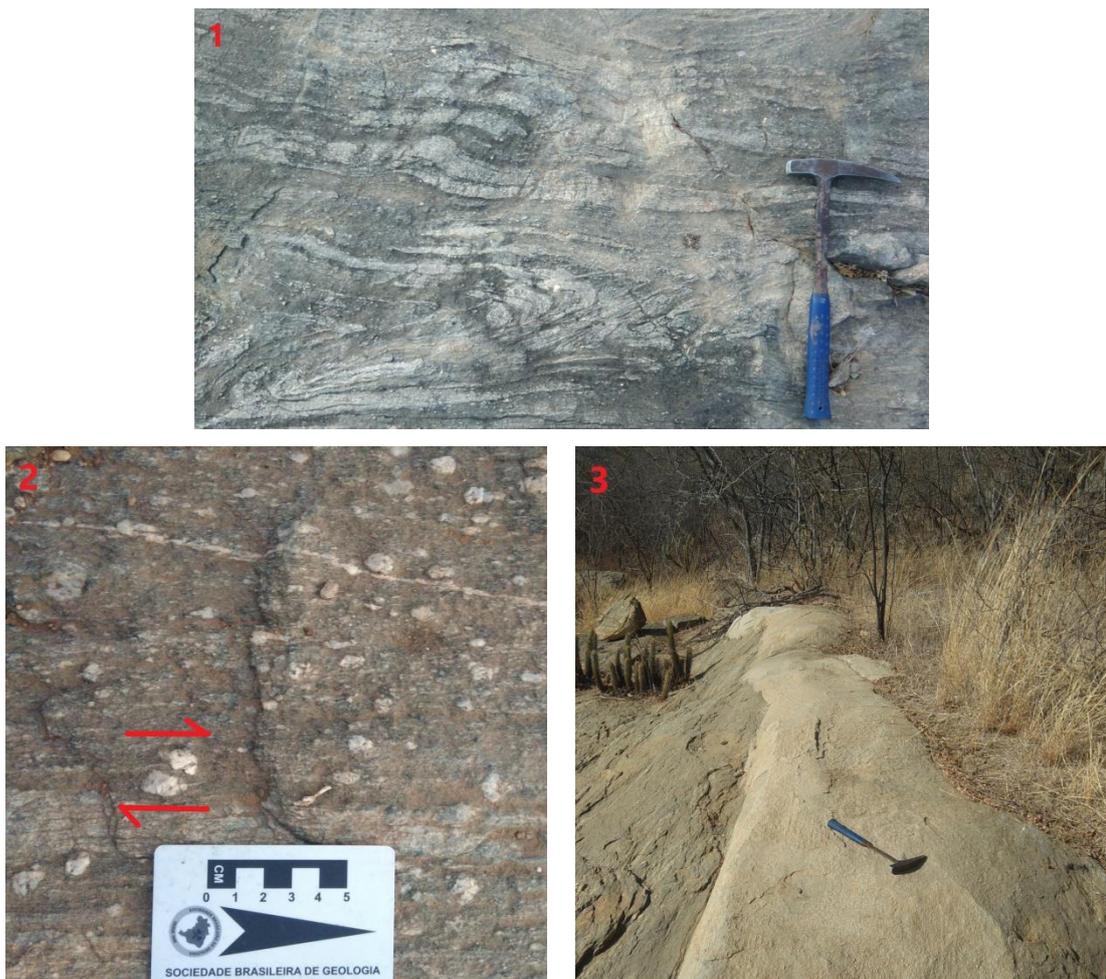


Figura 7 – Mapa geológico final.

## UNIDADES PALEOPROTEROZÓICAS

### 6.2 Ortognaisse Pórfiro

Aflora na forma de lajedos *in situ* principalmente na porção leste da área mapeada. Trata-se de uma rocha de coloração cinza-claro com variegados em tons esbranquiçados, apresentando porfiroblastos de feldspato potássico em meio a uma matriz de granulação fina a média formando uma textura granolepidoblástica e apresentando estrutura gnáissica com bandas félsicas e bandas máficas (Figura 8 – Foto 1). As bandas félsicas são de composição quartzo-feldspáticas de granulometria variando de fina a média. As bandas máficas de coloração acinzentada apresentam porfiroblastos de feldspato potássico de até 4 cm em meio a uma matriz quartzo feldspática com biotita e anfibólio, por vezes são essencialmente compostos por biotita, anfibólios e plagioclásio. Na porção Norte leucossomas são visíveis na rocha, indicando processo de anatexia. Os porfiroblastos de feldspato potássico aparecem muitas vezes rotacionados como sigmoides (Figura 8 – Foto 2) principalmente dextrais e subordinadamente sinistrais, coincidindo com o caráter das zonas de cisalhamento transcorrente dextrais da região. A rocha apresenta foliação gnáissica de 85° para 40° Az na porção norte e 35° para 68° Az para sul. Dobras fechadas e dobras em “Z” podem ser observadas nos afloramentos desta rocha a Norte da área mapeada. Na porção sul, fazem contato brusco com diques de granito fino de direção 60°Az (Figura 8 – Foto 3).



**Figura 8 - Foto 1) Afloramento de Ortognaisse Pórfiro apresentando bandamento gnaissico. Foto 2) Porfiroblastos de feldspato potássico sigmoidais indicando movimento dextral. Foto 3) Contato com dique de granito fino.**

Em seção, a rocha apresenta matriz com textura em mosaico recristalizada estaticamente de forma poligonizada, formada por quartzo e por plagioclásio e feldspato potássico, porém sobressaem grandes porfiroclástos de feldspato potássico envoltos por biotita e anfibólio (hornblenda) ligeiramente orientados definindo assim a foliação. Seu protólito é uma rocha ígnea sub-vulcânica submetida a metamorfismo de fácies epidoto-anfibolito.

Feldspato Potássico (35%) - Os porfiroclástos de feldspato potássico (antigos fenocristais) são xenoblásticos, pertíticos com maclas em Albita-Periclina (xadrez) típica do microclínio e que por vezes associa-se a geminação Carlsbad, geralmente exibindo aspecto deformado e por vezes engolfando cristais de plagioclásio em seu núcleo e outros com inclusões de quartzo em cristais anédricos e lamelas de biotita, indicando em ambos os casos cristalização e/ou crescimento tardio (tipo blastese). Os cristais de feldspato potássico da matriz mostram-se muitas

vezes de contatos retos entre si, os quais formam por vezes aglomerados arredondados de pequenos cristais recristalizados estaticamente e exibindo maclas da Albita-Periclina com aspecto de deformação.

Plagioclásio (12%) - Os cristais de plagioclásio encontram-se na matriz recristalizada estaticamente, exibindo alguns dos cristais geminação da Albita (composta) e por vezes alterações para argilominerais e sericita. Intercrecem com quartzo nas bordas de alguns dos porfiroclastos de feldspato potássico formando mirmequita.

Quartzo (20%) - O quartzo está presente na matriz em cristais anédricos e intersticiais aos cristais de feldspatos potássico e plagioclásio. Também ocorre incluso em alguns dos cristais de feldspato potássico.

Biotita (16%) - A biotita encontra-se em finíssimas lamelas, orientadas definindo assim a foliação. Exibe um em tons pleocroísmo castanho a castanho-claro e pardo-acastanhado e associação com hornblenda e aos cristais de epídoto e de titanita.

Hornblenda (5%) - A hornblenda encontra-se em cristais prismáticos e colunares, orientados, com pleocroísmo verde-escuro e verde com tons azulado, associados quase sempre à biotita e a titanita.

Epidotos (3%) - Os cristais de epídotos são anédricos.

Allanita (2%) - Tem-se allanita em cristais anédricos, pseudomórficos, alterados para argilominerais e com bordas de epídoto.

Opacos (3%) - Os cristais de opacos (magnetita – ilmenita) são subédricos e anédricos, associados por vezes à biotita e a hornblenda e titanita.

Titanita (2%) - Os cristais de titanita são anédricos e quase sempre associados à biotita e a hornblenda.

Zircão (2%) - Ocorre em raros grãos anédricos (subarredondados), inclusos em biotita e hornblenda formando halos pleocroícos.

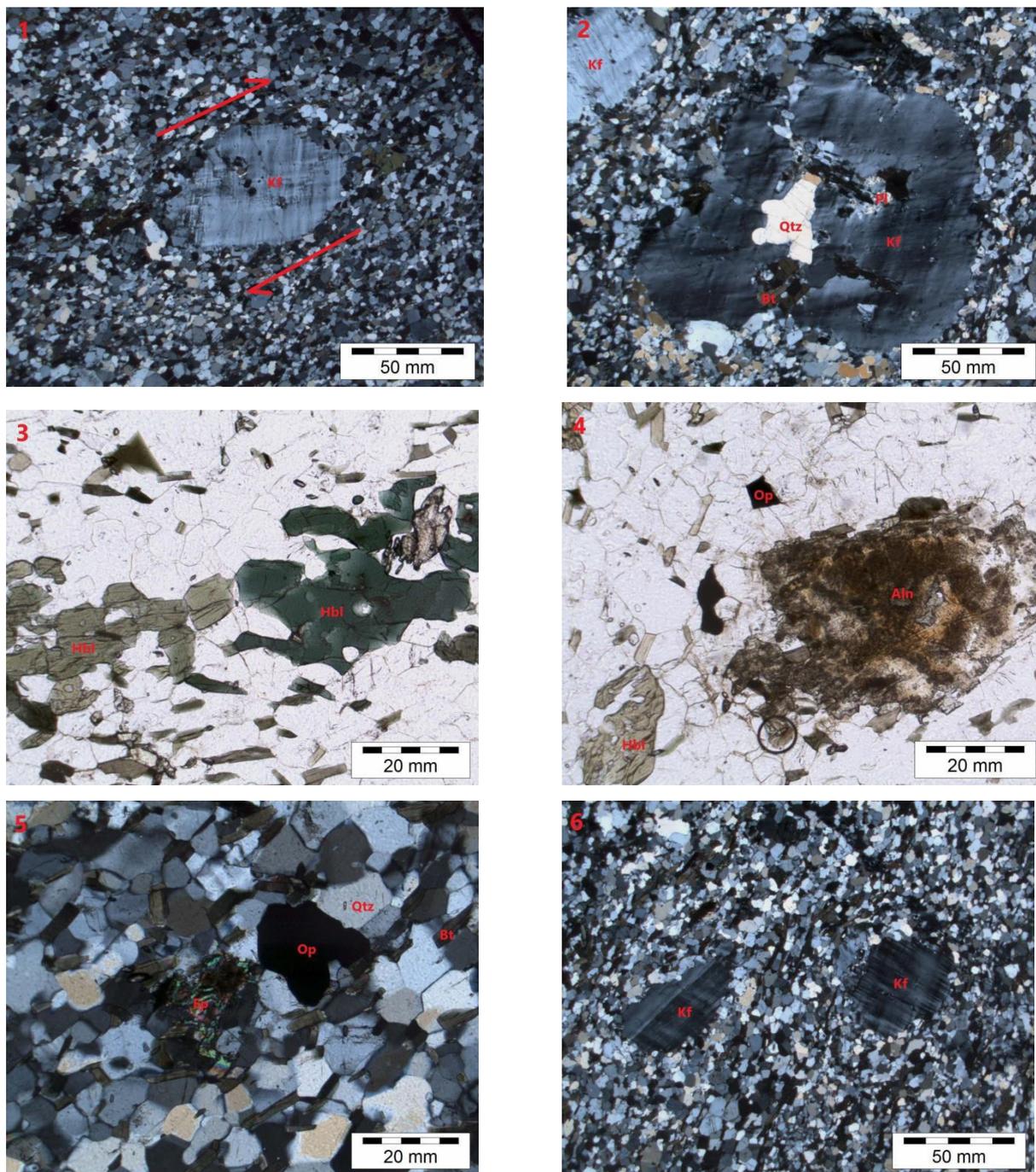


Figura 9 - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de ortogneiss pórfiro. Foto 1) Porfiroclásto de feldspato potássico orientados em meio a matriz foliada. Foto 2) Porfiroclásto de feldspato potássico com inclusões de quartzo, plagioclásio e lamelas de biotita. Foto 3) Cristais de hornblenda. Foto 4) Alteração em cristal de allanita pseudomórfica e anédrica. Foto 5) Cristais de epidoto e opaco. Foto 6) Porfiroclástos de feldspato potássico com geminação Calsbad e Albite-Periclina (xadrez) típica do microclínio.

### 6.3 Anfibolitos e Plagioclásio-Anfibolito

Ocorrem na área mapeada lentes de anfibolito e de plagioclásio-anfibolito *in situ*, esta última apenas como uma única ocorrência (Figura 18 – Foto 3). Essas lentes estão inseridas principalmente dentro do terreno ígneo, em contato com

sienogranitos pórfiro (Figura 18 – Foto 1), quartzo-sienitos e dique de pegmatito à amazonita. Uma ocorrência foi mapeada dentro do contexto metamórfico, em com ortognaisse pórfiro e com protomilonito monzogranito pórfiro (Figura 18 – Foto 2). A maioria das lentes de anfibolito são de coloração verde-escura a preta e com variegados esbranquiçados, granulação fina, foliada, com textura granonematoblástica, composta por anfibólios. O plagioclásio anfibolito apresenta coloração cinza-escura a preta, textura granonematoblástica, granulação muito fina, composto por anfibólio e plagioclásio equidimensionais.



**Figura 10 – Foto 1) Alguns blocos de anfibolito entre blocos de outras rochas granitoides em terreno de solo bastante avermelhado. Foto 2) Bloco de anfibolito. Foto 3) Lagado de plagioclásio-anfibolito.**

A seção do anfibolito mostra tanto a presença de feldspato potássico como a de quartzo nessa rocha, que é rica em hornblenda, o que pode caracterizar mistura de magmas.

Anfibólio (70%) - Os cristais de anfibólio (hornblenda) são prismáticos e colunares, mais ou menos orientados, exibindo pleocroísmo em tons verde a verde-escuro e por vezes verde com tons azulado (ricos em ferro) e com alteração para biotita.

Feldspato Potássico (8%) - Os cristais de feldspato potássico são xenoblásticos, pertíticos em barras e com maclas em tartan (xadrez) típico do microclínio e com extinção ondulante. Exibem alguns desses cristais de feldspato potássico bordas albitizadas com mirmequitas.

Plagioclásio (8%) - Os cristais plagioclásio ocorrem geralmente em forma de mosaico poligonizado (recristalizado), por vezes com exsoluções de quartzo em gotículas e um ou outro com aspecto de zoneamento metamórfico e raramente com geminados em Albita (composta). Intercrescem com quartzo formando mirmequitas.

Quartzo (6%) - Os cristais de quartzo são anédricos, intersticiais e geralmente em mosaico poligonizado.

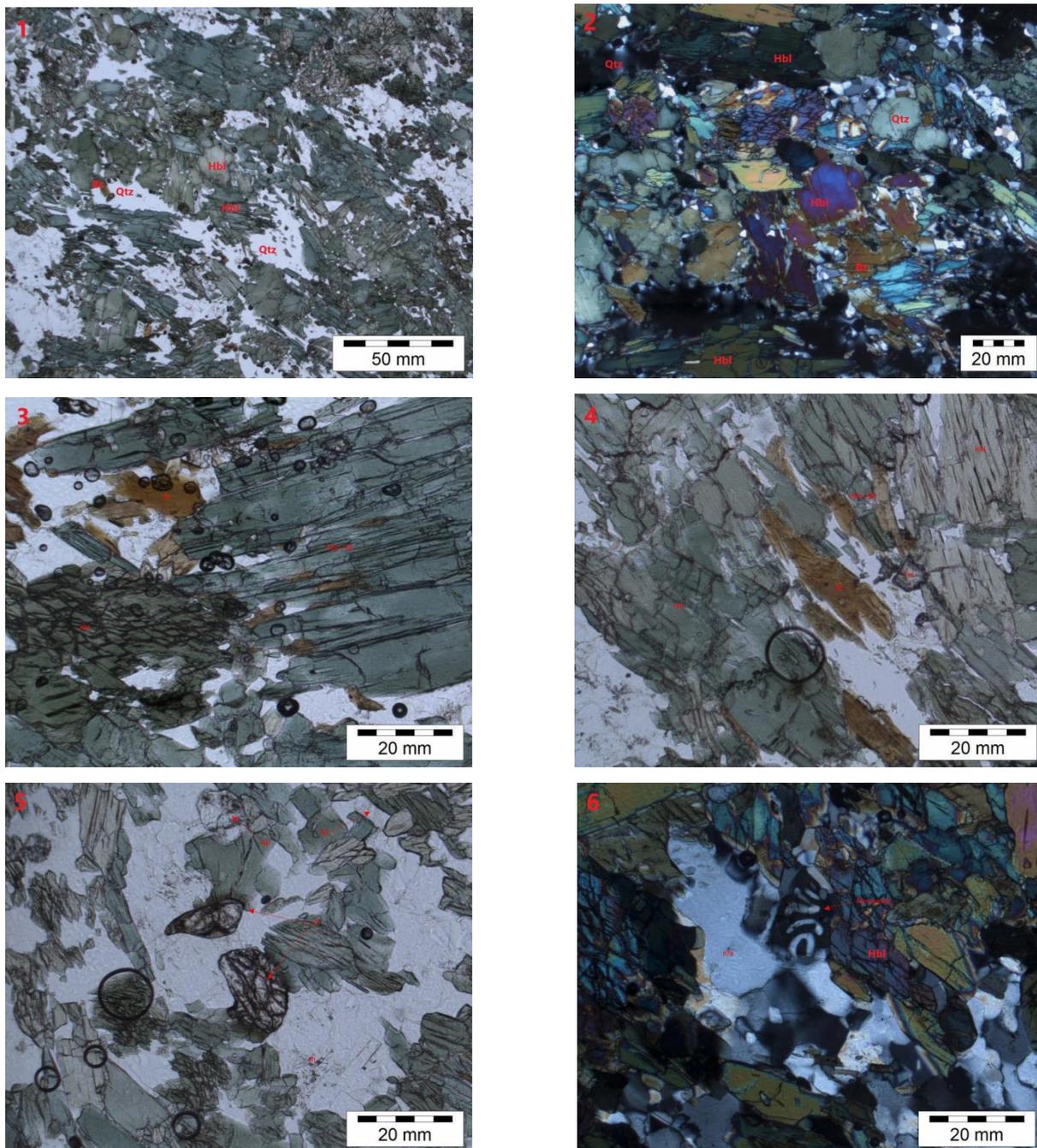
Biotita (4%) - A biotita encontra-se em tabulares e lamelares, exibindo pleocroísmo castanho-amarelado, formados a partir da hornblenda.

Titanita (1%) - A titanita apresenta-se em cristais anédricos, por vezes formando pequenos aglomerados, inclusos em hornblenda.

Zircão (1%) - O zircão encontra-se em cristais anédricos, subarredondados, por vezes inclusos em hornblenda formando halos pleocroícos.

Apatita (1%) - A apatita mostra-se em pequeníssimos cristais anédricos, associados aos feldspatos.

Zircão (1%) - O zircão encontra-se em cristais anédricos, subarredondados, por vezes inclusos em hornblenda formando halos pleocroícos.



**Figura 11 - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de anfíbolito. Foto 1 e 2) Fotomicrografias com nicóis cruzados e descruzados respectivamente mostrando a visão geral da rocha anfíbolítica em lâmina delgada onde pode ser observada a grande quantidade de hornblenda. Foto 3) Hornblenda alterando para biotita. Foto 4) Cristal de titanita associado a lamelas de hornblenda e biotita. Foto 5) Cristais de apatita e cristais de zircão com halos pleocrômicos. Foto 6) Mimerquita associada ao feldspato potássico e a hornblenda.**

Em seção do plagioclásio-anfíbolito têm-se cristais de hornblenda e plagioclásio e subordinadamente quartzo e como acessório opaco e secundariamente biotita.

Hornblenda (66%) - Os cristais de hornblenda são prismáticos curtos e longos e colunares em dois planos (tipo carlsbad), ligeiramente orientados, com

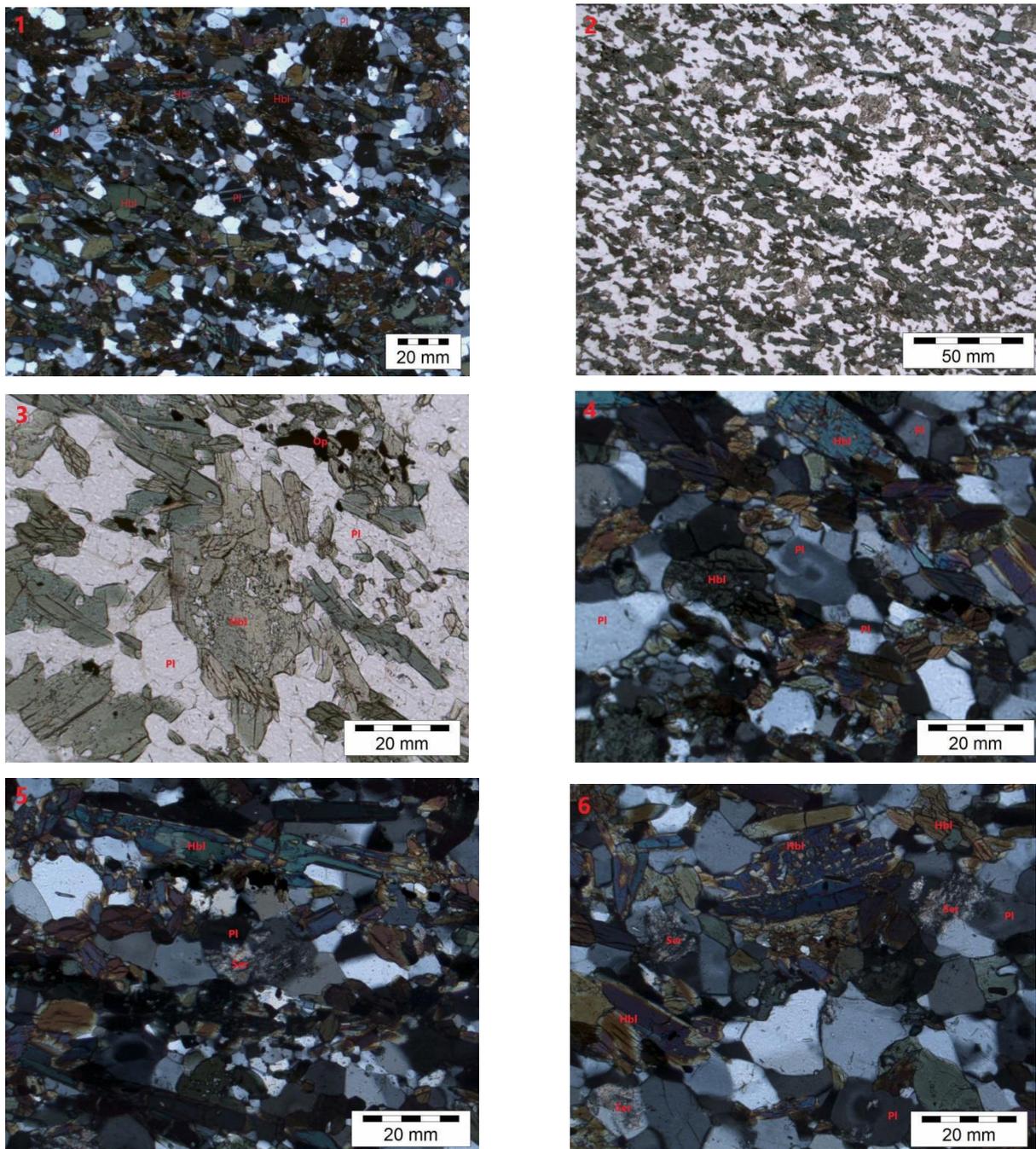
pleocroísmo verde-escuro e verde em tons azulado e com insignificante alteração para biotita. Exibem alguns dos cristais prismáticos inclusões diminutas de plagioclásio da matriz.

Plagioclásio (25%) - Os cristais de plagioclásio formam um mosaico recristalizado poligonalmente comum em zonas de cisalhamento, alguns exibem geminação da Albita-Carlsbad e outros são desprovidos desta e com de zonação metamórfica, indicando variação na composição devido ao aumento de temperatura, e um ou outro com alteração para finíssimas lamelas de sericita.

Quartzo (5%) - O quartzo ocorre em cristais anédricos e intersticiais e é dificilmente diferenciado do plagioclásio.

Opacos (3%) - Os cristais de opacos (óxido de ferro) são anédricos, inclusos nos cristais de hornblenda.

Biotita (1%) – Associada a hornblenda como produtos de sua alteração.



**Figura 12 - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de plagioclásio-anfibolito. Foto 1) Visão geral da rocha na sessão delgada com grande quantidade de hornblenda e plagioclásio, este ultimo no centro com macla do tipo albita. Foto 2) Visão geral da rocha na sessão delgada a nicóis descruzados. Foto 3) Opacos associados a hornblenda com inclusões de plagioclásio. Foto 4) Cristal de plagioclásio exibindo zoneamento metamórfico ao centro. Foto 5) Plagioclásio alterando para sericita. Foto 6) Plagioclásio com zoneamento metamórfico e hornblenda com inclusões de plagioclásio.**

## UNIDADES NEOPROTEROZÓICAS

### 6.4 Protomilonito (Monzogranito Pórfiro)

Ocorrem como pequenos corpos métricos que afloram *in situ* fazendo contato brusco com o ortognaisse pórfiro, indicando talvez um antigo contato entre um albíta-granito e outro litotipo granitóide que foram metamorfisados (Figura 10 – Foto 2). É uma rocha leucocrática de coloração creme-esbranquiçada, com foliação bem definida pela orientação paralela de minerais félsicos quartzo-feldspáticos e de máfico como biotita (Figura 10 – Foto 1). Apresenta granulometria fina a média e uma textura granoblastica a milonítica. Sua foliação varia de 65° para 30° Az a 88° para 40°Az.



Figura 13 – Foto 1) Afloramento de protomilonito (monzogranito pórfiro) com sua coloração creme-esbranquiçada e foliação subvertical. Foto 2) Contato entre ortognaisse pórfiro e protomilonito monzogranito pórfiro.

Em seção tem-se porfiroclastos de feldspato potássico e plagioclásio em uma matriz de quartzo e de feldspatos potássico e plagioclásio, recristalizados dinamicamente em subgrãos e em alguns locais estaticamente e com biotita em finas

lamelas orientadas, definindo assim a foliação. Trata-se de um monzogranito pórfiro que foi milonitizado e alcançou um metamorfismo de fácies anfibolito.

Feldspato Potássico (34%) - Os porfiroclastos de feldspato potássico são xenoblásticos, geralmente com maclas da albita-periclina (tartan) típica do microclínio micropertítico e pertíticos, com bordas albitizadas. Exibem alguns dos porfiroclastos inclusões de plagioclásio (alterado para argilominerais) e de quartzo subarredondados e de biotita cloritizada e sofre leve alteração para muscovita. Os cristais de feldspato potássico da matriz recristalizada também exibem maclas em Albita-Periclina (tartan) típica do microclínio micropertítico com lamelas de deformação.

Plagioclásio (22%) - Exibem alguns dos porfiroclastos inclusões de plagioclásio (alterado para argilominerais) e de quartzo subarredondados e de biotita cloritizada e sofre leve alteração para muscovita. Os cristais de plagioclásio da matriz recristalizada mostram-se por vezes com geminação da Albita (simples e composta) e Abita-Carlsbad e também com leves alterações para argilominerais e sericita.

Quartzo (28%) - Os cristais de quartzo são anédricos e alguns raros alongados, com extinção ondulante e na matriz recristalizados juntamente com os feldspatos estaticamente e em subgrãos. Têm-se intercrescimento de quartzo com plagioclásio nas bordas dos porfiroclastos de feldspato potássico, formando reentrâncias de mirmequita.

Biotita (12%) - A biotita apresenta-se em finas lamelas orientadas, exibindo pleocroísmo castanho-claro e pardo-acastanhado, associados por vezes ao epidoto e a grânulos de titanita. Biotita quando inclusa em feldspato potássico altera-se para clorita.

Epidoto (1%) - Ocorre em cristais subédricos e anédricos, associados à biotita

Titanita (1%) - Localmente têm-se diminutos grânulos de titanita associado à biotita.

Opacos (magnetita-ilmenita) (1%) – São subédricos e anédricos, alguns com bordas de titanita.

Apatita (1%) – São anédricas e alteradas para argilominerais.

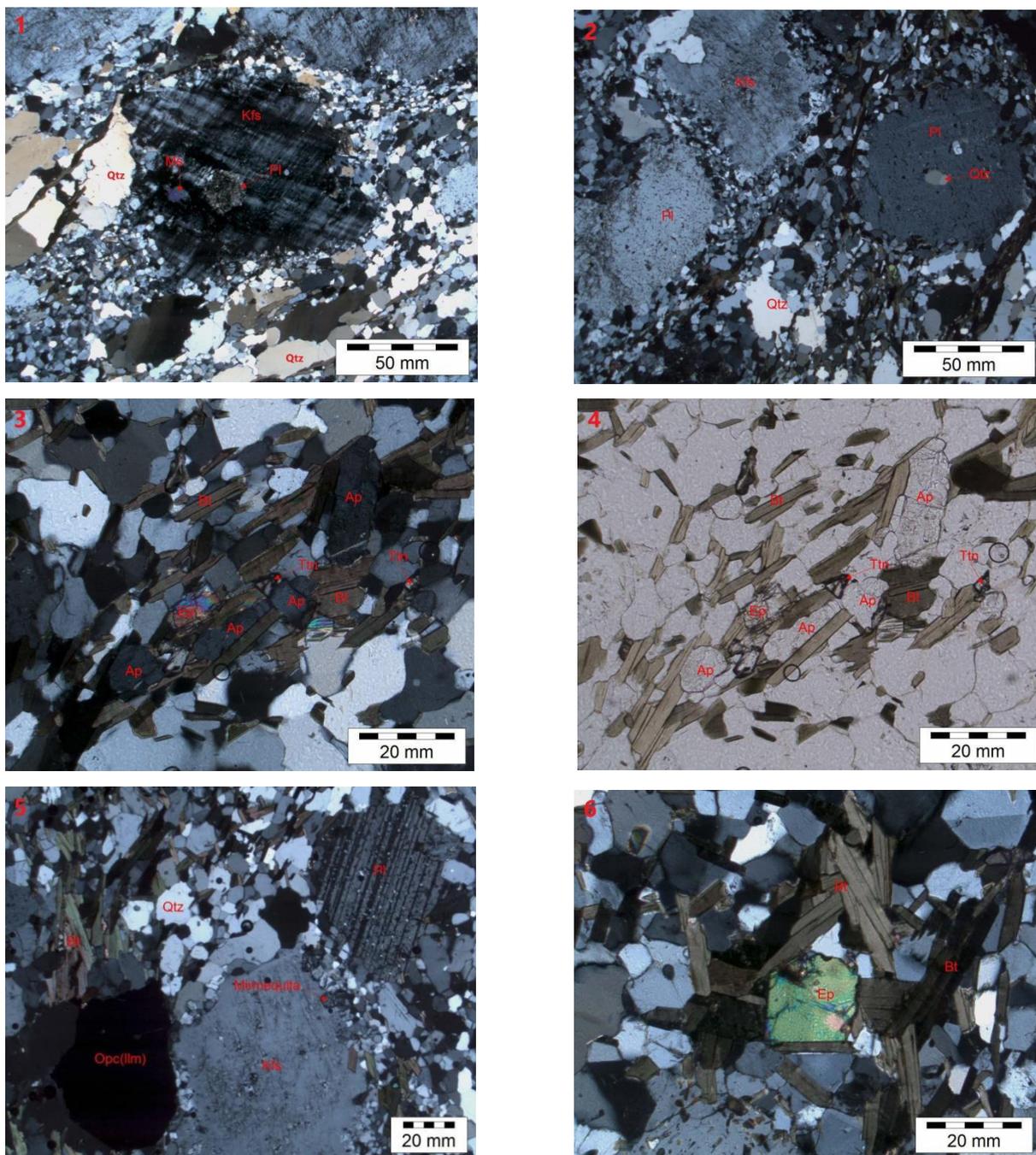
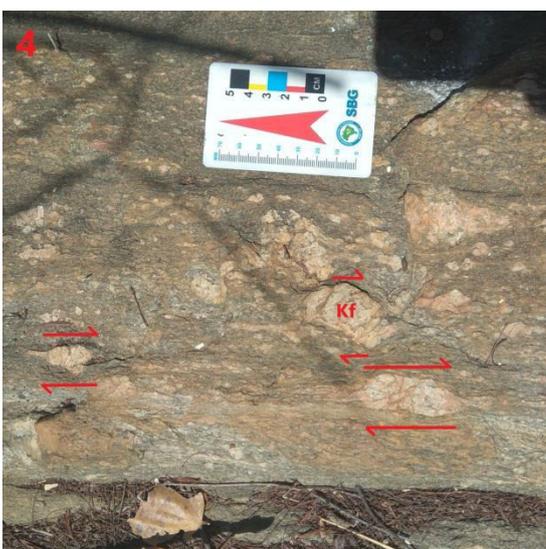
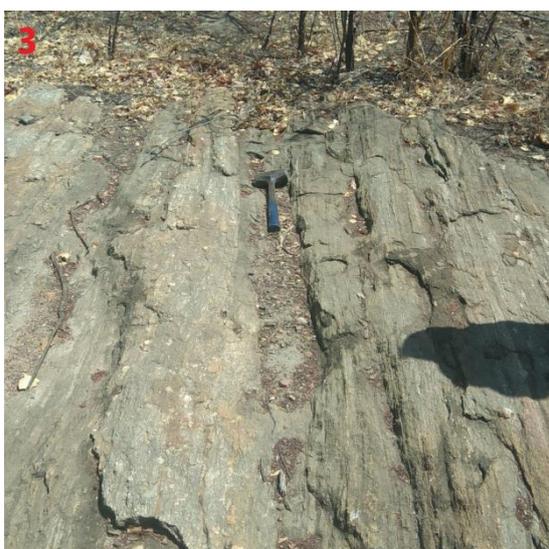
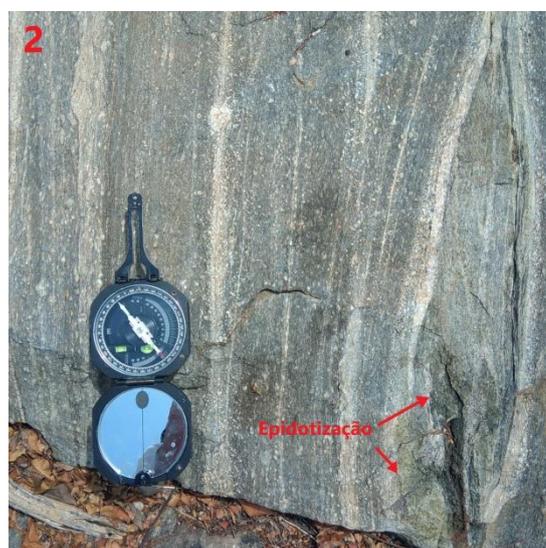
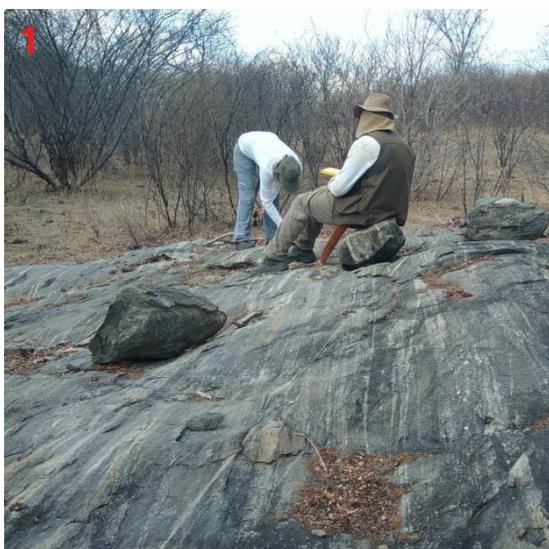


Figura 14 - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de protomilonito (monzogranito pórfiro). Foto 1) Ao centro profiroclásto de feldspato potássico com maclas da albita-periclina (tartan) e inclusão de plagioclásio e muscovita envolto por matriz da granulação mais fina. Foto 2) Porfiroclástos de feldspato potássico e de plagioclásio, este ultimo com inclusão de quartzo. Foto 3) Cristais de epidoto, apatita e titanita associados a lamelas de biotita. Foto 4) Mesmo caso anterior com nicóis descruzados. Foto 5) Porfiroclasto de feldspato potássico com bordas de mirmequitas, porfiroclásto de plagioclásio com geminação do tipo albita e grande cristal de opaco (ilmenita). Foto 6) Ao centro, cristal de epidoto associado a folhas de biotita.

### 6.5 Protomilonito

Ocorrem na forma de lajedos *in situ* inseridos na porção oeste da área mapeada. A rocha contém porfiroclástos de feldspatos ocelares e fraturados em tons creme-rosados envolvidos por matriz de coloração em tons cinza-claros, granulação

fina a grossa, composta por porfiroclastos de feldspato potássico fraturados e quartzo e com biotita orientada, esse comportamento se alterna gerando um bandejamento composicional representado por bandas félsicas e bandas máficas (Figura 12 – Foto 1). Nos contatos entre as bandas félsicas e máficas os cristais de feldspato potássico apresentam-se mais cominados pelo processo de cataclase (Figura 12 – Foto 2). Nas bandas félsicas ainda pode-se observar o processo de epidotização (Figura 12 – Foto 2). Os porfiroclastos de feldspato potássico se apresentam raramente como sigmoides sinistrais acompanhados de bordas de pressão (Figura 12 – Foto 4). A atitude da foliação é de  $80^\circ$  para  $127^\circ$  Az.



**Figura 15 – Foto 1) Vista geral do afloramento de protomilonito. Foto 2) Detalhe do afloramento onde se pode observar o cominamento dos cristais, bandejamento composicional e processo de epidotização. Foto 3) Mudança granulométrica no afloramento devido maior grau do processo de cataclatização. Foto 4) Porfiroclastos de feldspato potássico sigmoidais indicando movimento dextral.**

Em seção tem-se o contato entre duas rochas R1 e R2; R1- é de granulação mais fina e recristalizada em subgrãos e a R2 - é de granulação grossa, com grandes cristais de quartzo alongados tipo “ribons” entre porções de feldspatos. Ambas apresentam a mesma composição monzogranítica, porém foram deformadas por cisalhamento em que se atingiu metamorfismo de fácies anfibolito, tratando-se então de monzogranitos protomilonitizados.

R1 – Granulação fina;

Feldspato Potássico (38%) - Os cristais de feldspatos potássico são xenoblásticos, alongados, geralmente pertíticos e com maclas em tartan típica do microclínio.

Plagioclásio (28%) - Os cristais de plagioclásios são xenoblásticos, alongados, raramente com maclas da Albita (simples e composta) e com leves alterações para argilominerais e sericita.

Quartzo (23%) - Os cristais de quartzo são anédricos e alongados, exibindo extinção ondulante.

Biotita (10%) - Os cristais de biotita são lamelares, pleocroísmo castanho-escuro e pardo-acastanhado, orientados, oxidados e esgarçados.

Opacos (1%) - Os cristais de opaco (magnetita) são subédricos e anédricos, geralmente associados a biotita.

R2 – Granulação grossa;

Feldspato Potássico (30%) - Os cristais de feldspato potássico são xenoblásticos, pertíticos e raramente com maclas em tartan típica do microclínio e geralmente com bordas albitizadas.

Plagioclásio (28%) - Os cristais de plagioclásios são xenoblásticos, alguns com traços da macla Albita (simples e composta) pouco preservada, devido às alterações para argilominerais e sericita. Também intercrescem com quartzo nas bordas dos cristais de feldspato potássico formando mirmequitas.

Quartzo (35%) - Os cristais de quartzo são grossos, alongados tipo “ribons” e com extinção ondulante, envolvendo porções de feldspatos.

Biotita (3%) - Os cristais de biotita são lamelares, geralmente oxidados, com pleocroísmo castanho-amarelado e quase sempre associados aos cristais de opaco.

Opacos (3%) - Os cristais de opaco (magnetita) são subédricos e anédricos, geralmente associados a biotita.

Zircão (1%) - ocorre em cristais anédricos, associados aos feldspatos e aos cristais de opaco.

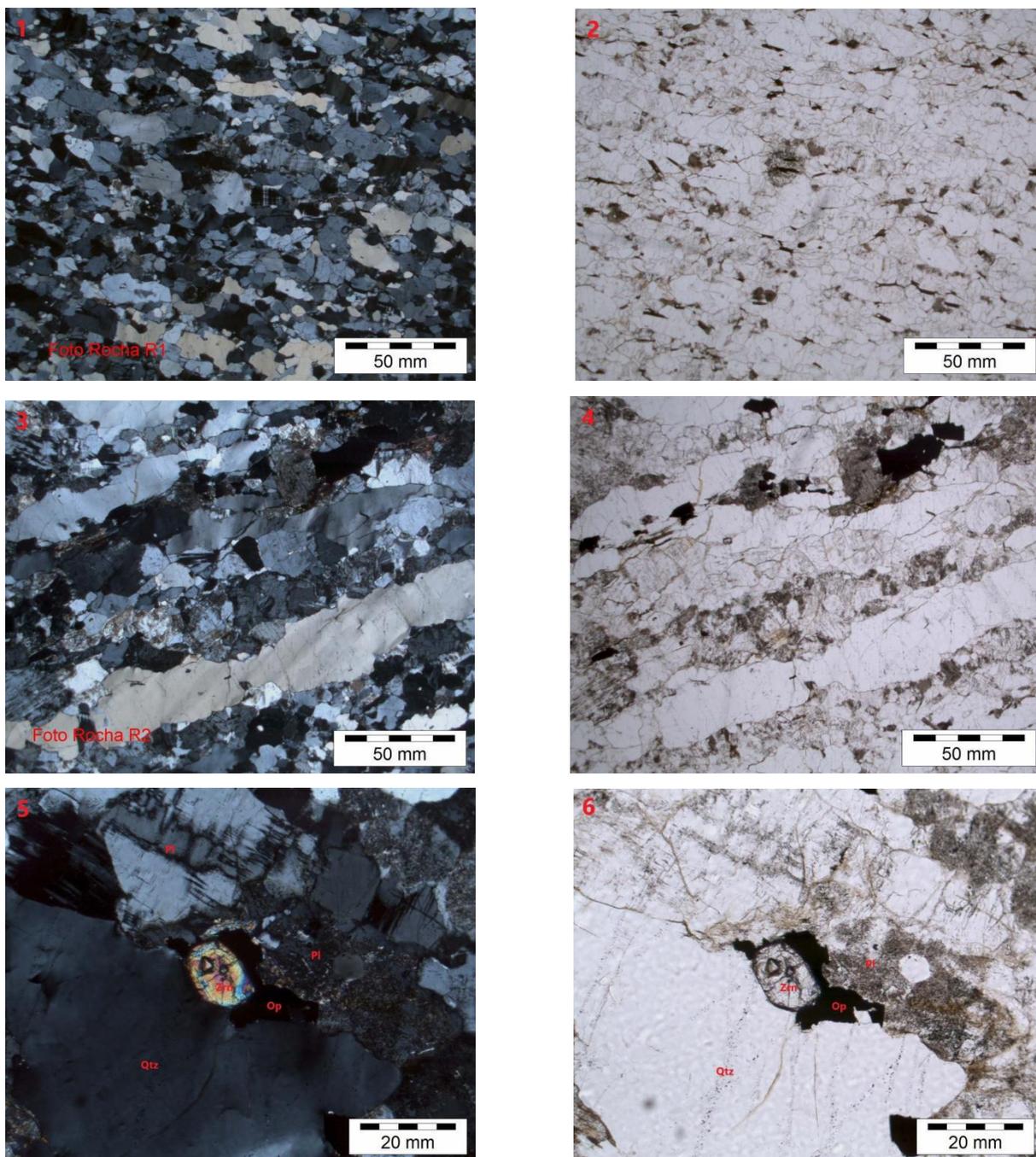


Figura 16 - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de protomilonito. Foto 1) Rocha 1 de granulação mais fina a nicóis cruzados. Foto 2) Mesma foto de antes a nicóis descruzados. Foto 3) Rocha 2 de granulação mais grossa com grandes cristais de quartzo alongados tipo “ribons” entre porções de feldspatos a nicóis cruzados. Foto 4) Mesma foto de antes a nicóis descruzados. Foto 5) Cristal de zircão incluído na rocha 2 e associado a quartzo, plagioclásio e opacos. Foto 6) Mesma foto de antes a nicóis descruzados.

## 6.6 Cataclasito

O afloramento desta rocha ocorre como um bloco *in situ* de aproximadamente 1,5 m na porção sudoeste da área mapeada (Figura 14). Trata-se de uma rocha de coloração em tons amarelo-creme, com bandamento milonítico a cataclástica, variação granulométrica de fina a grossa e bandamento composicional, composta por minerais félsicos quartzo-feldspáticos e máficos como biotita e opacos.



**Figura 17 - Afloramento de cataclasito onde é possível observar o bandamento composicional.**

Em seção é possível observar que o cataclasito é formado a partir de sienogranito pórfiro que sofreu metamorfismo em fácies anfíbolito.

Feldspato Potássico (48%) - Têm-se porfiroclastos de feldspato potássico de forma ocelares e alongados, ligeiramente rotacionados, fraturados e recristalizados dinamicamente em subgrãos em uma matriz de quartzo e feldspatos totalmente cominuídos ou triturados e recristalizados em subgrãos. Tanto os cristais da matriz como os porfiroclastos de feldspato potássico são de microclínio com maclas em tartan (xadrez) e de pertitas deformadas e alguns com bordas albitizadas, onde se tem raramente intercrescimento com quartzo formando mirmequita. Também se mostram alterados levemente para argilominerais e contem um ou outro, inclusões de quartzo em cristais anédricos.

Plagioclásio (10%) - Os cristais de plagioclásio encontram-se fraturados e são identificados devido ao processo de alteração para argilominerais e sericita.

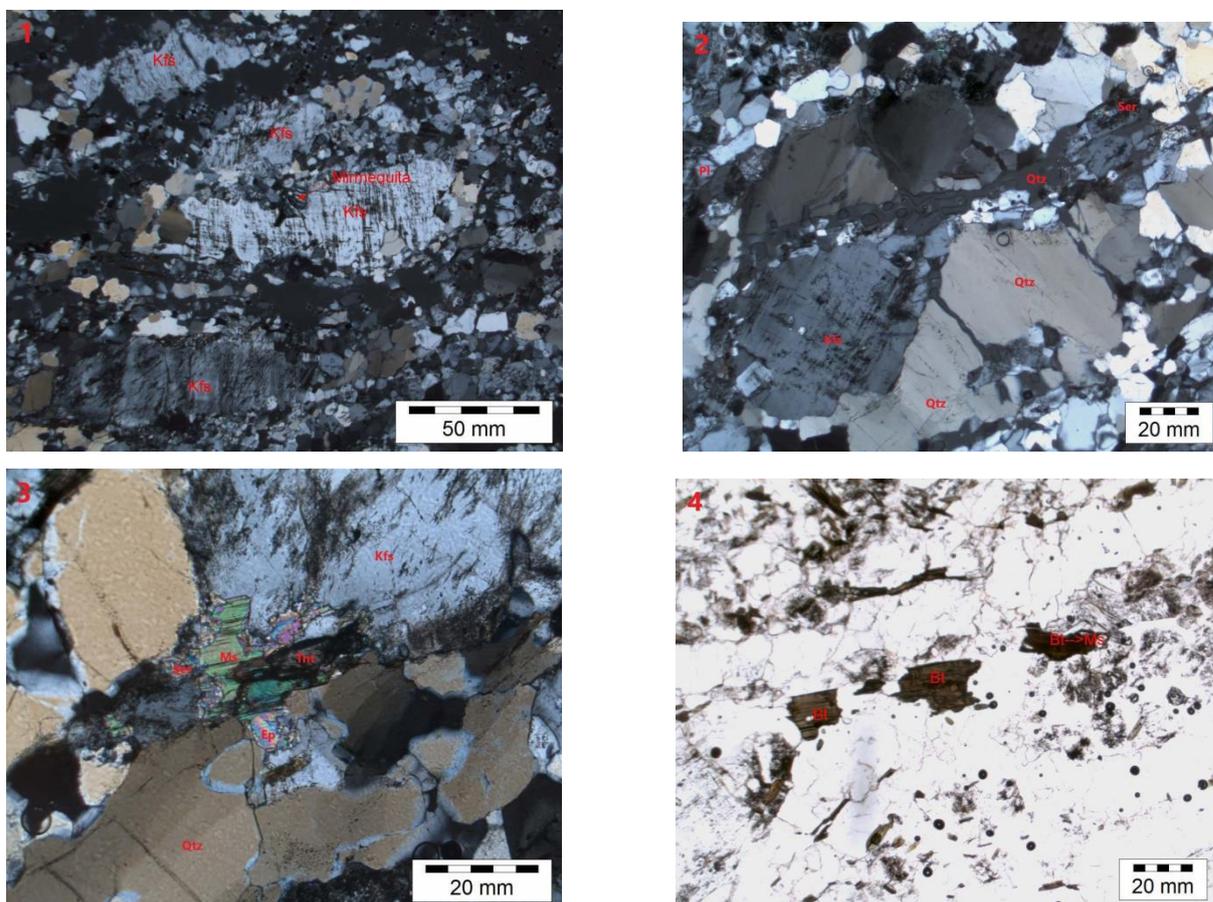
Quartzo (28%) - Os cristais de quartzo são anédricos e alguns alongados, com extinção ondulante e comumente com fraturas devido tanto a processos intempéricos como diminuição ou trituração por processos cataclásticos.

Biotita (13%) - A biotita apresenta-se em cristais lamelares e tabulares, orientados, exibindo pleocroísmo castanho-claro e pardo-amarelado, alterados para muscovita e associados a grânulos anédricos de titanita.

Titanita (1%) – Associada a biotita.

Muscovita (1%) - Ocorre como produto de alteração dos feldspatos e da biotita. Localmente têm-se muscovita na borda de um dos cristais de feldspato potássico associada a titanita e ao epidoto.

Epidoto (Tr) – Associado a feldspato potássico e muscovida.



**Figura 18 - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de cataclisito. Foto 1) Porfiroclastos de feldspato potássico ligeiramente rotacionados e fraturados envolvidos por matriz de granulação mais fina. Foto 2) Cristais de quartzo anédricos alongados e fraturados por processos cataclásticos. Foto 3) Cristal de titanita e epidotos associados a folhas de muscovita e sericita. Foto 4) Lamelas de biotita por vezes alterando para muscovita.**

### 6.7 Turmalina-Clorita-Gnaisse

Ocorre *in situ* normalmente em antigas cavas de garimpos de turmalina abandonados na porção sul da área mapeada (Figura 16 – Foto 1). A rocha de textura granolepidoblástica apresenta uma coloração verde-clara devido as folhas de clorita. Mineralização de turmalina da variedade schorlita, algumas de até 10 cm (Figura 16 – Foto 2), podem ser facilmente observadas em meio a uma matriz de granulometria fina composta por feldspatos, clorita intercalada com biotita e muscovita. Clorita também aparece alterada para sericita. A rocha gnáissica apresenta foliação com atitude de  $60^\circ$  para  $125^\circ\text{Az}$  associada à zona de transcorrência.



Figura 19 – Foto 1) Vista geral do afloramento de turmalina-clorita-gnaisse onde pode ser observada a foliação de alto ângulo. Foto 2 e 3) Cristais centimétricos de turmalina de variedade schorlita envolvidos pela massa de clorita. Foto 4) Cristais de turmalina de variedade schorlita.

Em seção é possível observar a textura granoblastica, localmente poligonizada, representada por cristais de plagioclásio, clorita, muscovita, quartzo, rutilo e apatita e turmalina, esta última não visível na lâmina, mas sim macroscopicamente em algumas porções dos afloramentos. A rocha é gerada a partir de metamorfismo de contato seguido de retro metamorfismo atingindo o fácies xisto verde, produto de um protólito pegmatoide.

Plagioclásio (50%) – Têm-se cristais de plagioclásio desprovidos de geminação, muitas vezes de contatos retos entre si e por vezes anédricos, alguns raros com aspecto de zoneamento metamórfico e comumente com alteração para clorita, argilominerais e sericita e para carbonato (calcita).

Clorita (30%) - A clorita ocorre em vários locais formando flocos em leques e em cristais tabulares e lamelares, birrefringência baixa em tons verde com amarelado e verde com cinza-esbranquiçado, pleocroísmo verde-claro e contendo por vezes inclusões diminutas de grânulos de ilmenita ou leucoxênio. São também de origem secundárias, quando formadas a partir da biotita.

Muscovita (15%) - A muscovita encontra-se em cristais tabulares e geralmente plumosos, com um leve pleocroísmo castanho-claro.

Quartzo (2%) - Os cristais de quartzo são dificilmente diferenciados dos de plagioclásio; são anédricos e intersticiais e localmente de contatos retos poligonizado.

Rutilo (2%) - Localmente têm-se pequeníssimos grânulos anédricos e com cor em tons castanho-adamantino, alterados nas bordas para leucoxênio.

Apatita (1%) - Encontra-se em pequenos cristais anédricos, por vezes subarredondados, inclusos e associados aos cristais de plagioclásio.

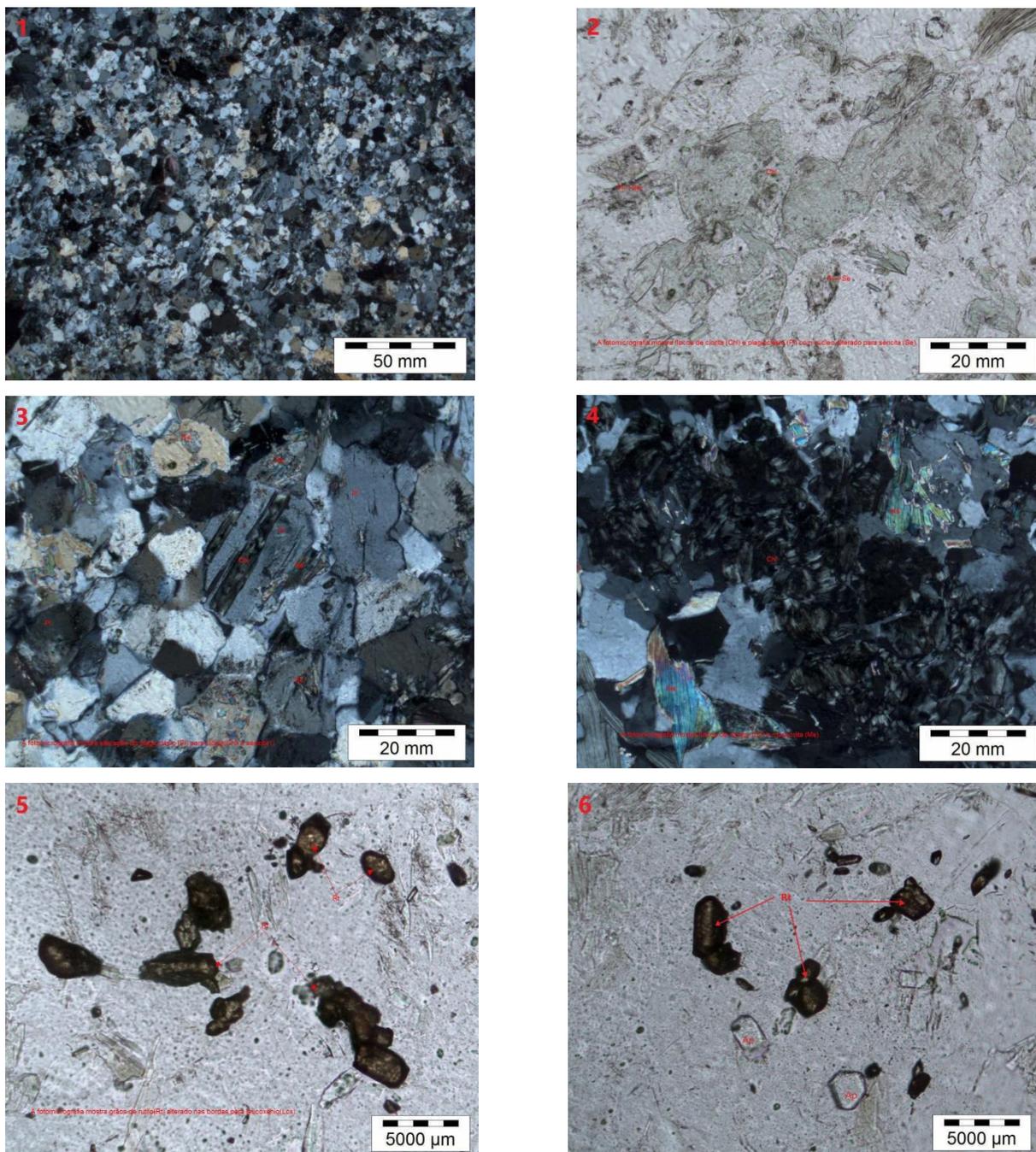


Figura 20 - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de turmalina-cloritagnaisse. Foto 1) Textura granoblastica, principalmente representada por cristais de plagioclásio e clorita. Foto 2) Fotomicrografia a nicóis descruzados mostrando focos de clorita e plagioclásio alterando para sericita. Foto 3) Alterações de plagioclásio para clorita e plagioclásio para sericita. Foto 4) Massa de cloritas ao centro e focos de muscovita. Foto 5) Cristais de rutilo com bordas alteradas para leucoxênio. Foto 6) Cristais de fluorapatita inclusos em plagioclásio.

### 6.8 Cornubianito

Ocorre como um único corpo *in situ* na porção sudoeste da área mapeada (Figura 21 – Foto 1). Trata-se de uma rocha de coloração cinza-claro a esverdeada, compacta e ligeiramente foliada e bandada visível em escala mesoscópica, granulação fina, porém sobressaem pequenas máculas esbranquiçadas de

plagioclásio (Figura 21 – Foto 2). Este corpo é cortado por um dique granítico com sentido de 40°Az (Figura 21 – Foto 3). Esse contato entre diques graníticos é o que possibilita o desenvolvimento de processos de alteração hidrotermais.



**Figura 21 – Foto 1) Vista geral do afloramento de Cornubianito. Foto 2) Fotografia de detalhe do Cornubianito. Foto 3) Dique granítico contendo o Cornubianito a 40°Az.**

Em seção tem-se uma textura granoblástica poligonizada do tipo hornfésica, formada por quartzo e plagioclásio. Trata-se de um cornubianito composto principalmente por plagioclásio, quartzo, anfibólio e opacos além de apatita e zircão-monazita como acessórios. A rocha formou-se a partir de um protólito pelítico-sedimentar sujeito a metamorfismo de contato de fácies albíta-hornfels.

Plagioclásio (45%) - Tem-se uma textura granoblástica poligonizada, formada por quartzo e plagioclásio; porem sobressai nessa matriz porfiroblastos poiquiloblásticos de plagioclásio albitico, que por vezes exibem geminados em Albita (composta) e Carlsbad e Periclina e que quase todos contem certa densidade de exsoluções de quartzo em gotículas, dando aspecto esponjoso e também com certa densidade de inclusões de plagioclásios de geração antiga com mirmequitas e de finíssimas fibras aciculares de actinolita, indicando crescimento tardio e juntamente com processos metassomáticos e que são típicos de elevadas temperaturas.

Quartzo (25%) - O quartzo encontra-se recristalizado de forma poligonal na matriz e intercrescidos com plagioclásio albitico formando mirmequitas.

Anfibólio (22%) - Actinolita encontra-se em finíssimas fibras aciculares inclusas nos porfiroblastos de plagioclásio e dispersas na matriz, ou seja, não orientadas. Geralmente as fibras são incolores a luz natural, exibindo por vezes com oxidação e algumas um leve pleocroísmo em tons verde-claro, quando associadas aos opacos. Também se associam a restos de hornblenda e se alteram para clorita.

Opacos (5%) - Os cristais de opacos são anédricos, geralmente associados aos cristais de actinolita.

Apatita (1%) - Ocorre em cristais anédricos na matriz poligonizada.

Zircão (1%) - Mostra-se geralmente metamictico, associados aos cristais fibrosos de actinolita e opacos.

Monazita (1%) - Ocorre em um cristal euédrico, com borda metamictica.

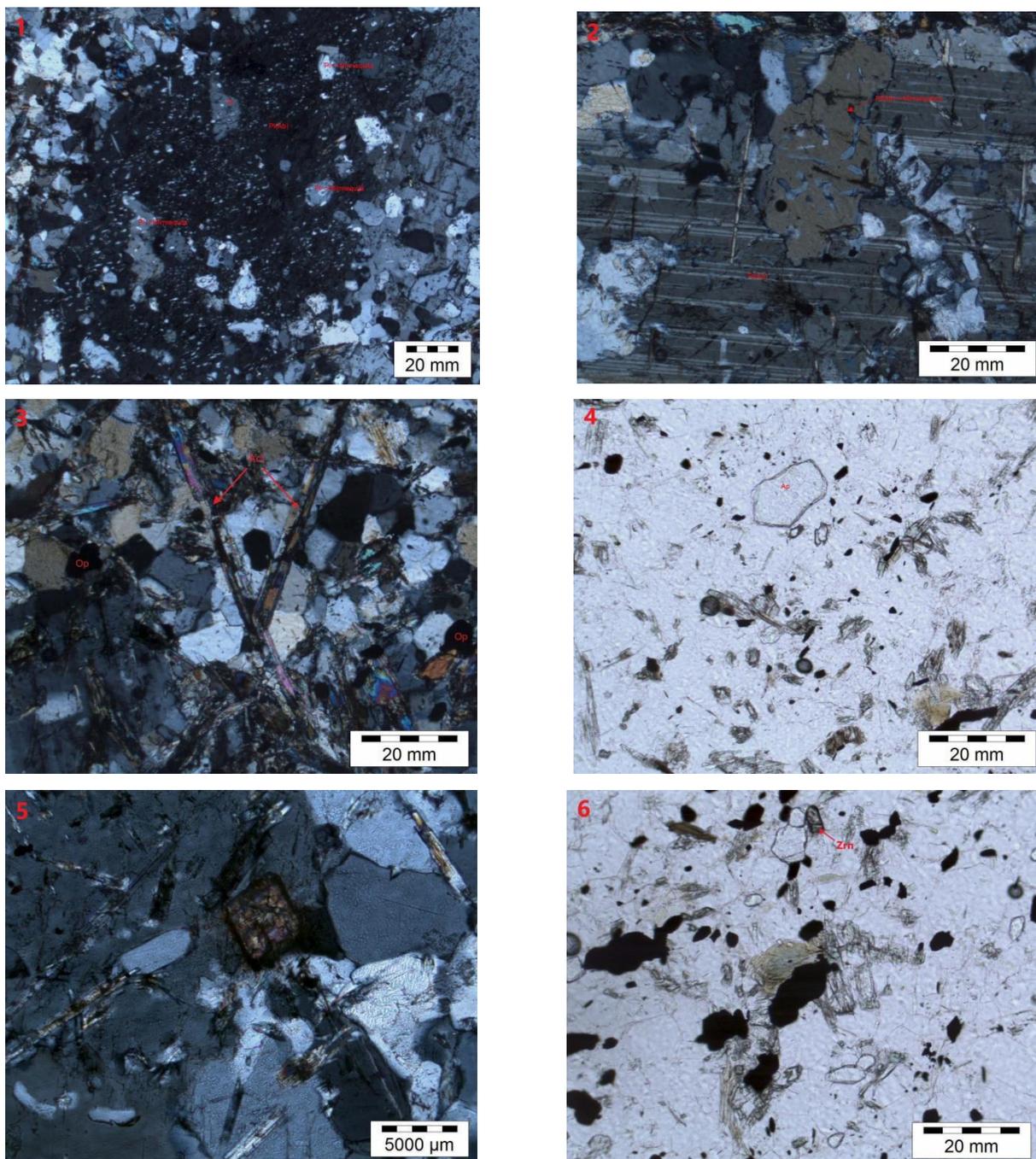


Figura 22 - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de cornubianito. Foto 1) Cristais plagioclásio com textura granoblástica poligonizada do tipo hornfésica apresentando mimerquitas. Foto 2) Cristal de plagioclásio com geminação do tipo albita (Composta) associado a cristal mimerquitizado, ambos granoblasticos poligonizados. Foto 3) Cristais de actinolita aciculares cortando os porfiroblástos de plagioclásio e não orientados na matriz. Foto 4) Cristal de apatita anédrica. Foto 5) Cristal de monazita mitamictítico. Foto 6) Cristal de zircão associado actinolita e a opacos em meio a matriz de quartzo e plagioclásio.

### 6.9 Cálcio-Silicática

Ocorrem na forma de blocos métricos *in situ* na porção nordeste da área mapeada (Figura 23 – Foto 1). Esses blocos apresentam coloração variando de rosa-creme com tons esverdeados a verde-claro com pequenas manchas esbranquiçadas, granulação fina e textura granoblástica composta por epidótos e por

plagioclásio, anfibólio e clinopiroxênio (Figura 23 – Foto 2). Apresenta-se foliado com atitude de 40° para 295°Az.



**Figura 23 – Foto 1) Vista geral do afloramento de Cálcio-Silicática. Foto 2) Foliação presente do afloramento de Cálcio-Silicática.**

Em seção tem-se:

Epidotos (33%) - Têm-se porções aglomeradas de diminutos cristais subédricos e anédricos de epídoto, plagioclásio saussuritizados para epídoto. Também tem-se cristais de epidoto inclusos em quartzo.

Plagioclásio (21%) - Alguns cristais de plagioclásio mostram-se com maclas da Albita (composta) e Albita-Carlsbad e com aspecto de zonação metamórfica (indicando variação de temperatura).

Quartzo (5%) - Os cristais de quartzo são anédricos e intersticiais aos cristais de plagioclásio e de epídoto, anfibólio e clinopiroxênio.

Anfibólio (10%) - Os cristais de anfibólios (hornblenda-tremolita e uralita) são prismáticos curtos e fibrosos, exibindo pleocroísmo verde a verde-claro e ao longo dos cristais de clinopiroxênio pleocroísmo verde com tons azulado.

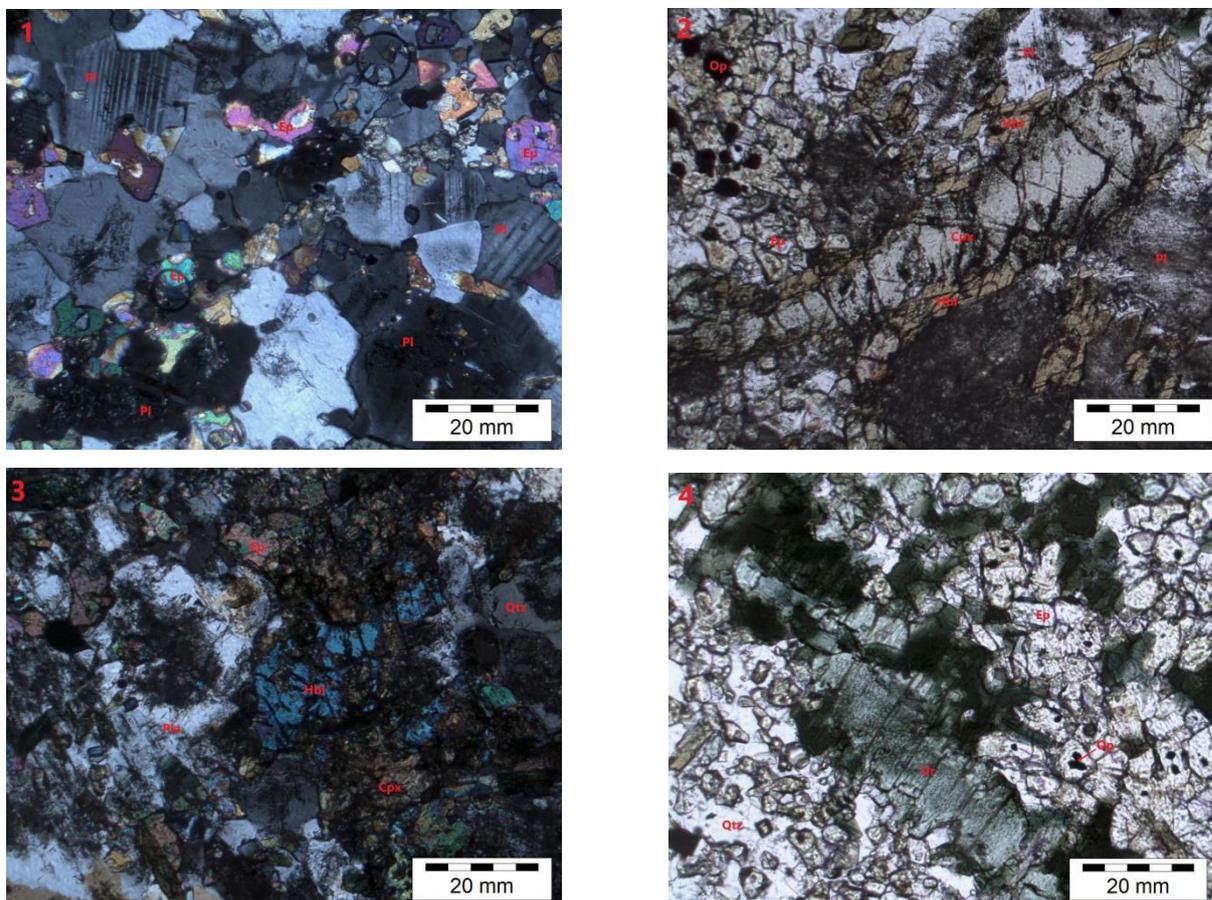
Clinopiroxênio (15%) - Os cristais de clinopiroxênio são prismáticos e de cor verde-pálido a luz natural, contendo geralmente restos de anfibólio ao longo das bordas e dos núcleos.

Titanita (5%) - Em alguns locais têm-se aglomerados de cristais anédricos de titanita associados aos cristais de epídoto e clinopiroxênio.

Allanita (5%) – Têm-se aglomerados de cristais anédricos de allanita em tons marrom-alaranjado, associados aos cristais de epídoto e clinopiroxênio.

Opacos (5%) - Os cristais de opaco (ilmenita) são subédricos e anédricos, associados e inclusos nos cristais de epidotos, anfibólios e clinopiroxênio.

Apatita (1%) - Apatita ocorre em cristais anédricos.



**Figura 24 - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de cálcio-silicática. Foto 1) Cristais de plagioclásio com zoneação metamórfica e geminação do tipo albita (composta) e calcsbad associando-se a cristais de epidoto. Foto 2) Cristal de clinopiroxênio bordejado por anfibólio e opacos associandos a cristais de epidoto. Foto 3) Cristal de hornblenda-tremolita ao centro em coloração azulada. Foto 4) Cristais de uralita, gerado a partir do processo de alteração do clinopiroxênio, associados a epidoto, quartzo e opacos.**

### 6.10 Sienogranito Pórfiro

Ocorre na forma de lajedos *in situ* inseridos na porção oeste da área mapeada com uma grande dimensão, abrangendo talvez mais de 50% desta. Estes granitoides são inequigranulares, geralmente de coloração rosa creme a amarela, apresentando como característica diagnóstica sua mineralogia e granulação grossa principalmente representada por fenocristais de feldspato potássico retangulares que variam de 1 cm a 4 cm, podendo apresentar uma discreta zonação (Figura 25 – Foto 1 e 2). Sua matriz é quartzo-feldspática com traços de biotita e hornblenda. A rocha faz contato brusco com os monzonitos (Figura 25 – foto 3), no entanto é possível observar que alguns dos fenocristais de feldspato potássico se encontram dispersos

nas matrizes dos litotipos vizinhos indicando que a rocha ainda estaria a se cristalizar. Um afloramento bastante didático permite estabelecer relação de ordem de formação entre o monzonito e sienogranitos finos. O monzonito, mais máfico, por vezes ocorre como forma de enclaves, indicando que pode ter sido esta a rocha que sofreu fusão parcial e formou o sienogranito pórfiro, mais félsico, ou indicando um processo de mistura de magmas. O granito fino é ainda mais félsico, e por isso seria a terceira rocha formada (Figura 25 – Foto 4). Xenólitos de anfibolito e biotita-gnaisse também podem ser observados nos álcali-feldspato granito pórfiro (Figura 25 – Foto 5 e 6). O contato com os demais litotipos rochosos vizinhos, tais como, quartzo-sienito, anfibolitos, cornubianito, cálcio-silicáticas e ortognaisse pórfiro, são contatos inferidos, pois não foram visíveis em campo por conta de coberturas sedimentares presentes na área.



**Figura 25 - Foto 1) Sienogranito pórfiro com fenocristais de feldspato potássico. Foto 2) Fenocristais de feldspato potássico singelamente zonados. Foto 3) Restito de monzonito de coloração acinzentada ao centro engolfado pelo sienogranito pórfiro. Foto 4) Granito fino associado a sienogranito pórfiro. Foto 5 e 6) Xenólitos de anfibolitos e “gnaisse” respectivamente.**

Em seção pode-se observar sua textura porfirítica representada pelo K-feldspato e com matriz formando textura granular em cristais anédricos e subédricos de quartzo, feldspato potássico e plagioclásio e que em alguns locais encontram-se

de contatos retos entre si. Na matriz também estão presentes anfibólio, clinopiroxênio, biotita, apatita, titanita, zircão e opacos. A rocha trata-se de um Sienogranito Pórfiro.

Feldspato Potássico (35%) - Os fenocristais de feldspato potássico são euédricos e subédricos, pertíticos e micropertíticos e com geminação Carlsbad associada e alguns raros com maclas em tartan típica do microclínio. Têm-se na matriz por pequenos cristais de feldspato potássico com maclas em tartan típica do microclínio.

Plagioclásio (12%) – Apresentam-se com geminação da Albita-Carlsbad estando associado ao feldspato potássico e quartzo na matriz.

Quartzo (18%) – Os cristais de quartzo estão presentes na matriz associando-se com os demais minerais e formando textura granular.

Clinopiroxênio (13%) - Os cristais de clinopiroxênio são prismáticos e com cor verde-claro a luz natural e por vezes com oxidação ao longo dos planos de clivagens e com inclusões de opacos e geralmente com restos de hornblenda, indicando uma origem a partir da hornblenda.

Hornblenda (10%) - Os cristais de hornblenda são prismáticos e colunares, exibindo pleocroísmo verde e verde com tons azulado, quase sempre alterados para clinopiroxênio e por vezes para biotita.

Opacos (4%) - Os cristais de opacos (ilmenita e titanomagnetita) são subédricos e anédricos, associados aos cristais de clinopiroxênio e hornblenda e geralmente com restos de titanita.

Titanita (3%) - Os cristais de titanita são anédricos, associados quase sempre aos cristais de opacos e aos clinopiroxênio e hornblenda.

Biotita (2%) – Ocorre localmente em finos cristais tabulares e em cristais tabulares maiores, oxidados e formados a partir da hornblenda.

Apatita (2%) – Ocorre em cristais subédricos e anédricos, associados aos cristais de hornblenda e aos de clinopiroxênio e inclusos em forma de finos bastões em hornblenda.

Zircão (1%) – Encontra-se metamictico, inclusos em hornblenda.

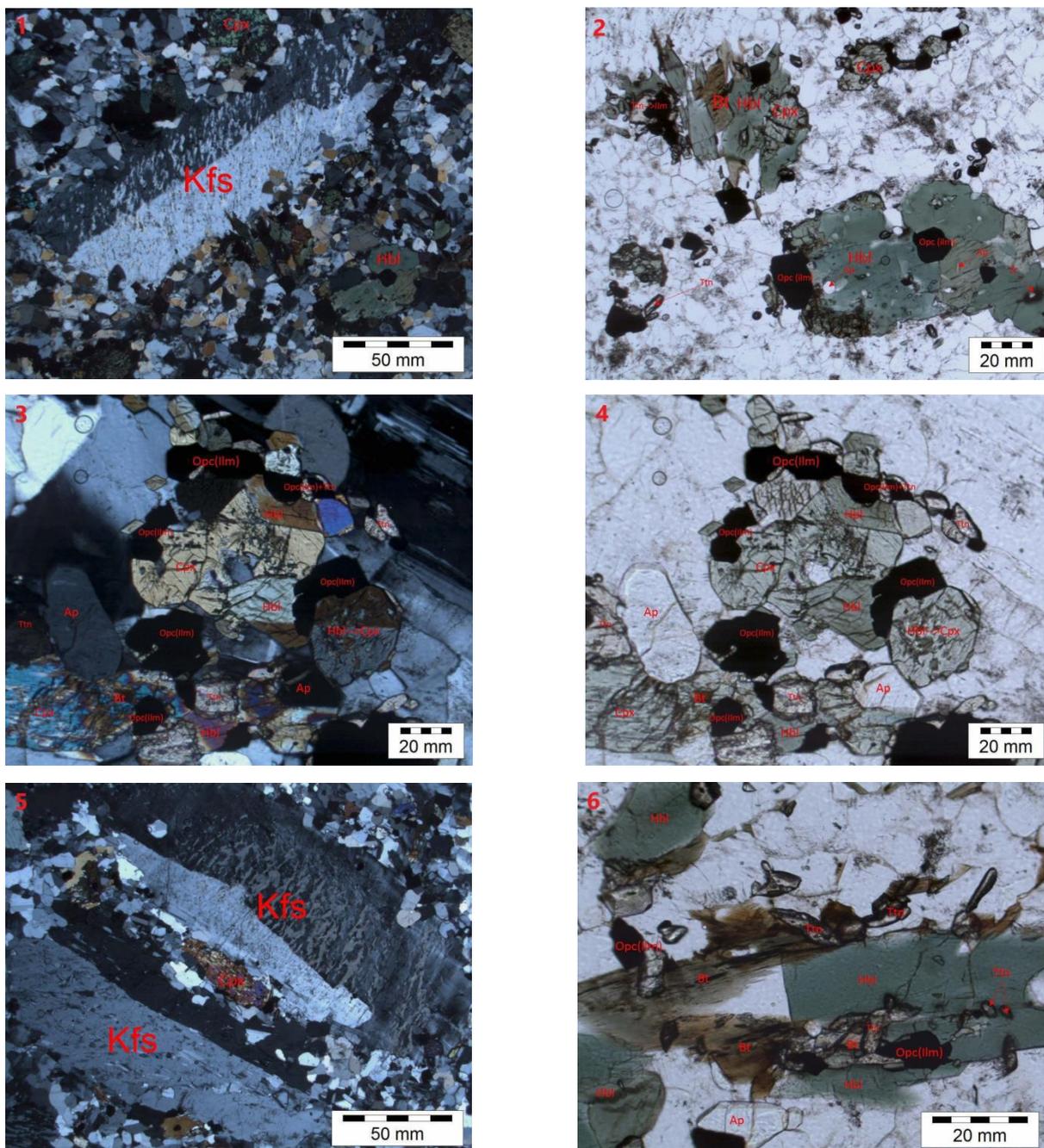


Figura 26 – Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de sienogranito pórfiro. Foto 1) Textura porfirítica do feldspato potássico envolto por textura granular de quartzo, feldspato potássico e plagioclásio. Foto 2) Associação entre biotita, hornblenda e cpx com titanita alterando para ilmenita e cristal de zircão incluído em hornblenda. Foto 3 e 4) Cristais de apatita e de hornblenda alterando para cpx utilizando nicóis cruzados e descruzados respectivamente. Foto 5) Textura porfirítica do feldspato potássico com geminação calssad e matriz granular em cristais anédricos a subédricos de quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e cpx. Foto 6) Biotita formada a partir de hornblenda.

### 6.11 Monzonito

Ocorre na porção noroeste da área mapeada *in situ* ou como enclaves dentro dos afloramentos de Sienogranito Pórfiro (Figura 27 – Foto 1), formando com estes uma espécie de contato brusco onde é possível observar alguns fenocristais

de feldspato potássico do sienogranito dentro dos enclaves de monzonito (Figura 27 – Foto 2). Trata-se de uma rocha de coloração cinza clara e por vezes com tons róseo-esverdeados, e textura inequigranular, granulação fina a média composta por feldspatos e minerais máficos como clinopiroxênio, anfibólio e biotita. Ocorrem também fraturas preenchidas por anfibólios (Figura 27 – Foto 3) e outras por quartzo leitoso (Figura 27 – Foto 4) orientadas a  $165^\circ\text{Az}$ ,  $145^\circ\text{Az}$ , estes últimos apresentam turmalina nas bordas ou nas porções centrais. A rocha também é cortada por veios de pegmatito de até 10 cm de espessura com zona central preenchida por quartzo e as bordas por feldspato potássico.



**Figura 27 – Foto 1) Afloramento de sienogranito pórfiro com enclaves de monzonito. Foto 2) Enclaves de monzonito. Foto 3) Fratura preenchida por anfibólio em monzonito. Foto 4) Veio pegmatítico, apresentando zonação com quartzo leitoso no centro e feldspato potássico nas bordas, cortando um afloramento de monzonito.**

No microscópio eletrônico é possível observar que a rocha apresenta uma matriz rica em feldspato potássico e plagioclásio albítico orientados, indicando fluxo magmático. Porém sobressaem nesta matriz fenocristais de ortoclásio peritéticos e cristais de clinopiroxênio (diopsídio), anfibólio (hornblenda), biotita e opacos.

Feldspato potássico + Albita (42%) - Os fenocristais de ortoclásio são peritéticos com finos filmes de Albita e com geminação Carlsbad. Têm-se na matriz alguns raros cristais de feldspato potássico com maclas da Albita-Periclina (tartan) típica do microclínio.

Plagioclásio (12%) - Os cristais de plagioclásios são em sua maioria de Albita e alguns raros tabulares curtos e com maclas da Albita composta, podendo tratar-se de oligoclásio.

Clinopiroxênio (15%) - Os cristais de clinopiroxênio (diopsídio) são prismáticos, subédricos, clivagem perfeita em uma e em duas direções, contendo geralmente restos de anfibólio (hornblenda) em seu núcleo e ao longo das bordas e por vezes com oxidação e formação de opaco e com alteração para biotita.

Anfibólio (13%) - Os cristais de anfibólio (hornblenda) são prismáticos, com pleocroísmo verde a verde-escuro e por vezes azulados, alterados para biotita e com passagem para clinopiroxênio.

Biotita (10%) - Os cristais de biotita são tabulares, podendo ser de origem primária e secundária, com pleocroísmo variando de castanho a castanho-claro e castanho esverdeados, geralmente associados aos cristais de clinopiroxênio e ao anfibólio e opaco.

Opacos (5%) - Os cristais de opaco (ilmenita) são subédricos e anédricos, exibindo alguns dos cristais ao longo das bordas traços de titanita.

Apatita (2%) – Ocorre em cristais anédricos, por vezes em bastões, geralmente associados aos cristais de clinopiroxênio, anfibólio e biotita e de opaco.

Zircão (1%) - Mostra-se em cristais anédricos, metamicticos, inclusos em anfibólio e biotita.

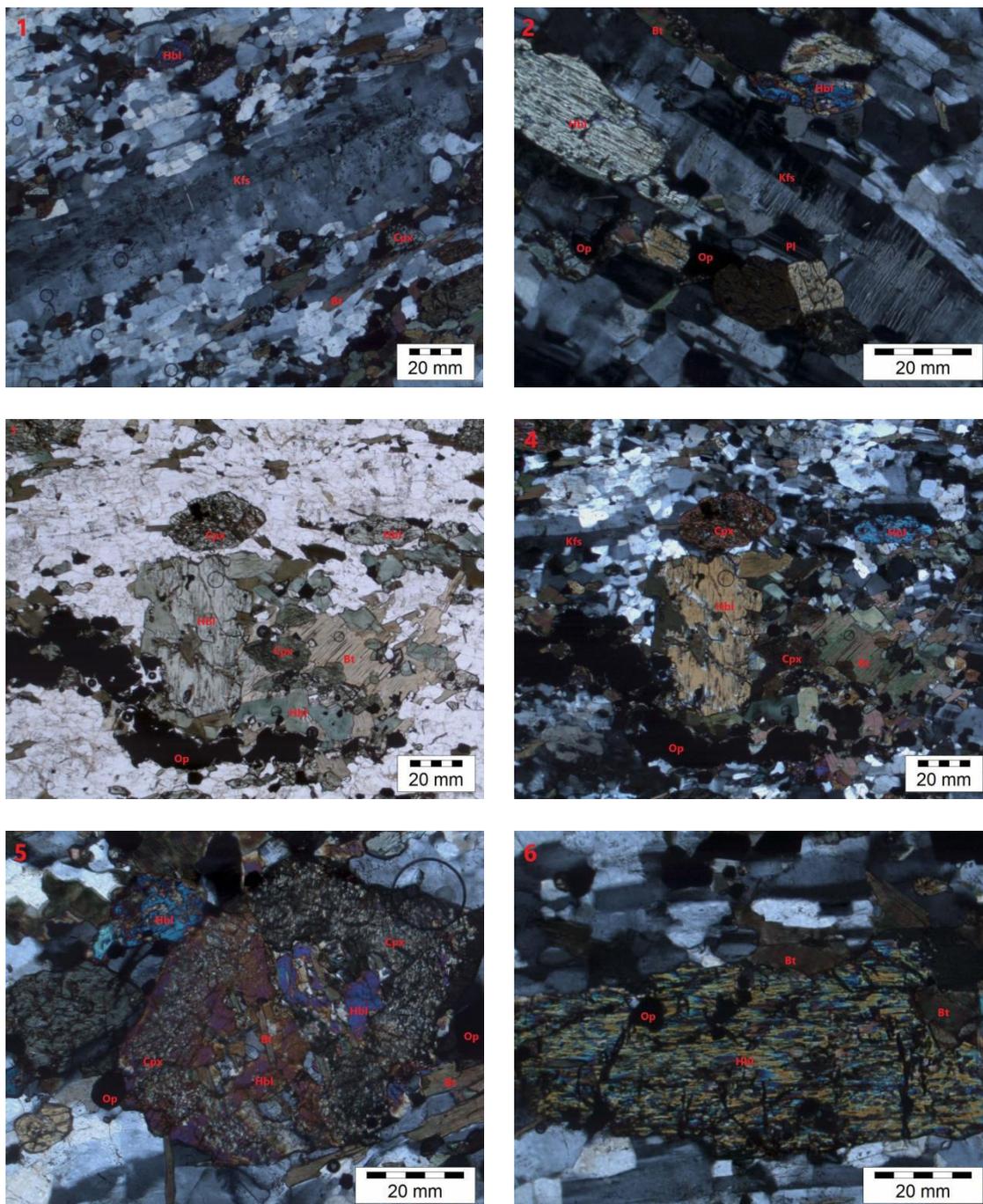


Figura 28 - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de monzonito. Foto 1 e 2) Contexto geral dos minerais presentes na sessão delgada onde pode-se ver ao centro um cristal de feldspato potássico com finos filmes de albita. Foto 3 e 4) Cristais de anfibólio e clinopiroxênios associados a biotita e opacos. Foto 5) Cristal de clinopiroxênio com restos de hornblenda e com lamelas de biotita produzidas ao final da alteração. Foto 6) Cristal de hornblenda alterando para biotita.

### 6.12 Monzogranito

Esse litotipo aflora a oeste da área mapeada ocorrendo na forma de pequenos blocos rolados. Trata-se de uma rocha leucocrática, com coloração esbranquiçada a creme, granulação fina e um pouco friável, composição quartzo-feldspática e com algumas raras pontuações de biotita oxidada e de opacos (Figura

29). As características da rocha que possibilitam denominá-la de monzogranito foram melhor observadas na análise petrográfica, onde há uma maior concentração de plagioclásio. Esse litotipo faz parte do mesmo contexto magmático que formou os sienogranitos pórfiro e, talvez, os monzonitos, sendo assim cogenético a estes.



**Figura 29 – Fotografia de pequeno bloco de Monzogranito.**

No microscópio petrográfico é possível observar uma textura granular alotriomórfica, granulação média, variando de 1,0 a 7,0mm de comprimento.

Plagioclásio (23% - 35%) - Os cristais de plagioclásios são alotriomórficos, geralmente com finas maclas da Albita simples e alguns com maclas da Albita composta e comumente com leves alterações para argilominerais.

Feldspato Potássico (25% - 42%) - Os cristais de feldspato potássico são alotriomórficos, pertíticos em barras e com maclas da Albita-Periclina (tartan) típica do microclínio. Localmente têm-se Albita sendo substituída por microclínio.

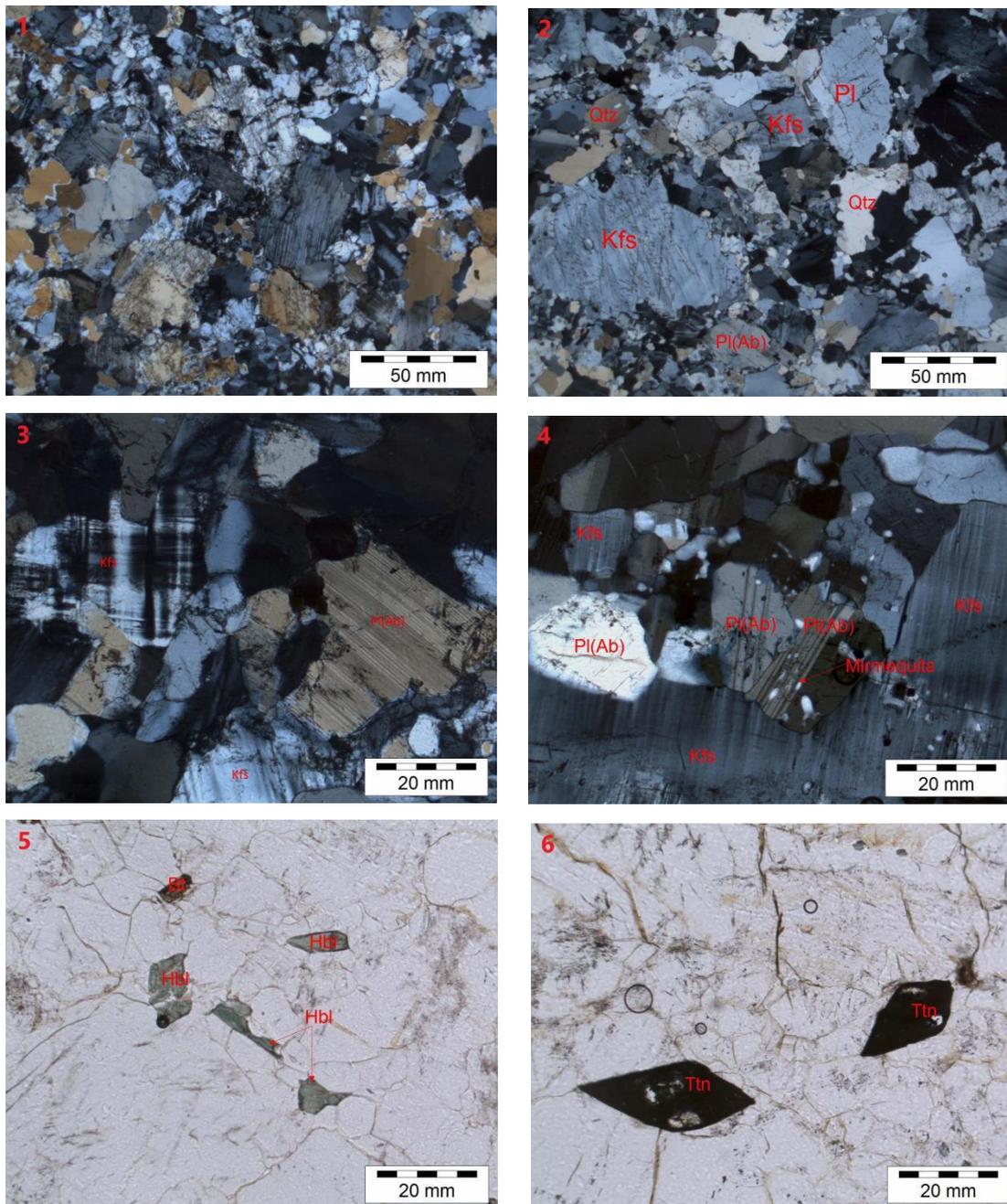
Quartzo (30% - 38%) - Os cristais de quartzo são anédricos e com extinção ondulante, intersticiais aos feldspatos. Alguns dos cristais de quartzo envolvem porções de feldspatos potássico e plagioclásio, indicando cristalização tardia.

Opacos (1%) - Os cristais de opacos (ilmenita) são anédricos e comumente oxidados e alterados para leucoxênio e/ou rutilo.

Hornblenda (2%) - Os cristais de hornblenda são colunares e com aspecto fibroso, pleocroísmo verde a verde-escuro, raramente oxidados.

Titanita (2%) - Os cristais de titanita são euédricos, geralmente alterados para leucoxênio e/ou ilmenita.

Biotita (Tr) - Tem-se raras lamelas de biotita.



**Figura 30 - Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de monzogranito. Foto 1 e 2) Textura em sua maioria inequigranular alotromorfica representada por cristais de feldspato potássico e plagioclásio (por vezes albita) associados a cristais anédricos de quartzo. Foto 3) Cristais de feldspato potássico apresentando macla da albita-periclina (tartan) típica do microclínio e cristal de plagioclásio (albita) com macla polissintética simples. Foto 4) Mirmequitas em cristais de plagioclásio e de feldspato potássico. Foto 5) Cristais colunares de hornblenda e biotita lamelar. Foto 6) Cristais euédricos de titanita.**

### 6.13 Diques de Alkali-Feldspato Granito Pórfiro

Afloram em formas de diques espalhados em toda a área mapeada, muitas vezes na forma de matações de blocos alinhados (Figura 31 – Foto 1). Trata-se de uma rocha de coloração em tons róseo-creme e com variegados esverdeados, granulação fina a média, composta por pórfiros de feldspatos potássicos de até 4cm (por vezes alteradps para sericita) e cristais de anfibólios e piroxênio (Figura 31 – Foto 2). A maioria desses diques apresentam um alinhamento em torno de 35°Az, entretanto também foram medidas atitudes de 10°Az a 60°Az. Suas dimensões variam de 3m por 5m a 5m por 50m.



**Figura 31 – Foto 1) Diques de àlcali-feldspato granito pórfiro alinhados a 35°Az. Foto 2) Fotografia de detalhe de amostra de àlcali-feldspato granito pórfiro utilizada para confecção de lâmina petrográfica.**

Em seção têm-se grandes fenocristais de feldspato potássico em uma matriz formada por pequeníssimos cristais de feldspato potássico (pertíticos) e quartzo e raros de plagioclásio albítico. Trata-se se um alcali-feldspato granito porfiro.

Feldspato Potássico (56%) - Os grandes fenocristais de feldspato potássico são euédricos e subédricos, geralmente pertíticos e alguns com geminação da albita-periclina (tartan) típica do microclínio. Têm-se alguns fenocristais de pertitas e de microclínio com geminação carlsbad associada e têm-se também fenocristais de pertita com inclusões de microclínio em tartan e fenocristais de microclínio com inclusão de pertita em cristal euédrico e de plagioclásio albítico alterado para argilominerais. Os cristais de feldspato potássico da matriz são pertíticos de contatos retos entre si e com o quartzo e plagioclásio e com leves alterações para caulim.

Plagioclásio Albítico (5%) - Os cristais de plagioclásio albítico estão presentes na matriz desprovidos de geminação e como produto de albitização dos cristais de feldspato potássico.

Quartzo (20%) - Os cristais de quartzo também só ocorrem na matriz; são anédricos e associados aos cristais feldspato potássico.

Hornblenda (5%) - Os cristais de hornblenda são colunares, exibindo pleocroísmo verde-escuro a verde com tons azulado, ricos em ferro e com alterações para biotita e com contribuição para epidoto e opacos (magnetita-ilmenita).

Biotita (5%) - Os cristais de biotita são tabulares, com pleocroísmo castanho-alaranjado e pardo-alaranjado, formados a partir da hornblenda (rica em ferro) e também com contribuição para formação de epidoto e de opacos.

Epidoto (5%) - Os cristais de epidoto são anédricos, com cores em tons amarelo limão, formados tanto a partir da desestabilização da hornblenda como da biotita e opacos.

Opacos (3%) - Os cristais de opacos (magnetita e ilmenita) são anédricos, inclusos e associados aos cristais de hornblenda e de biotita e epidoto.

Titanita (1%) - A titanita ocorre em cristais anédricos, com bordas alteradas para ilmenita ou leucoxênio e associadas aos cristais de epidoto e de hornblenda com biotita.

Zircão (Tr) - Encontra-se em um cristal anédrico, incluso em biotita.

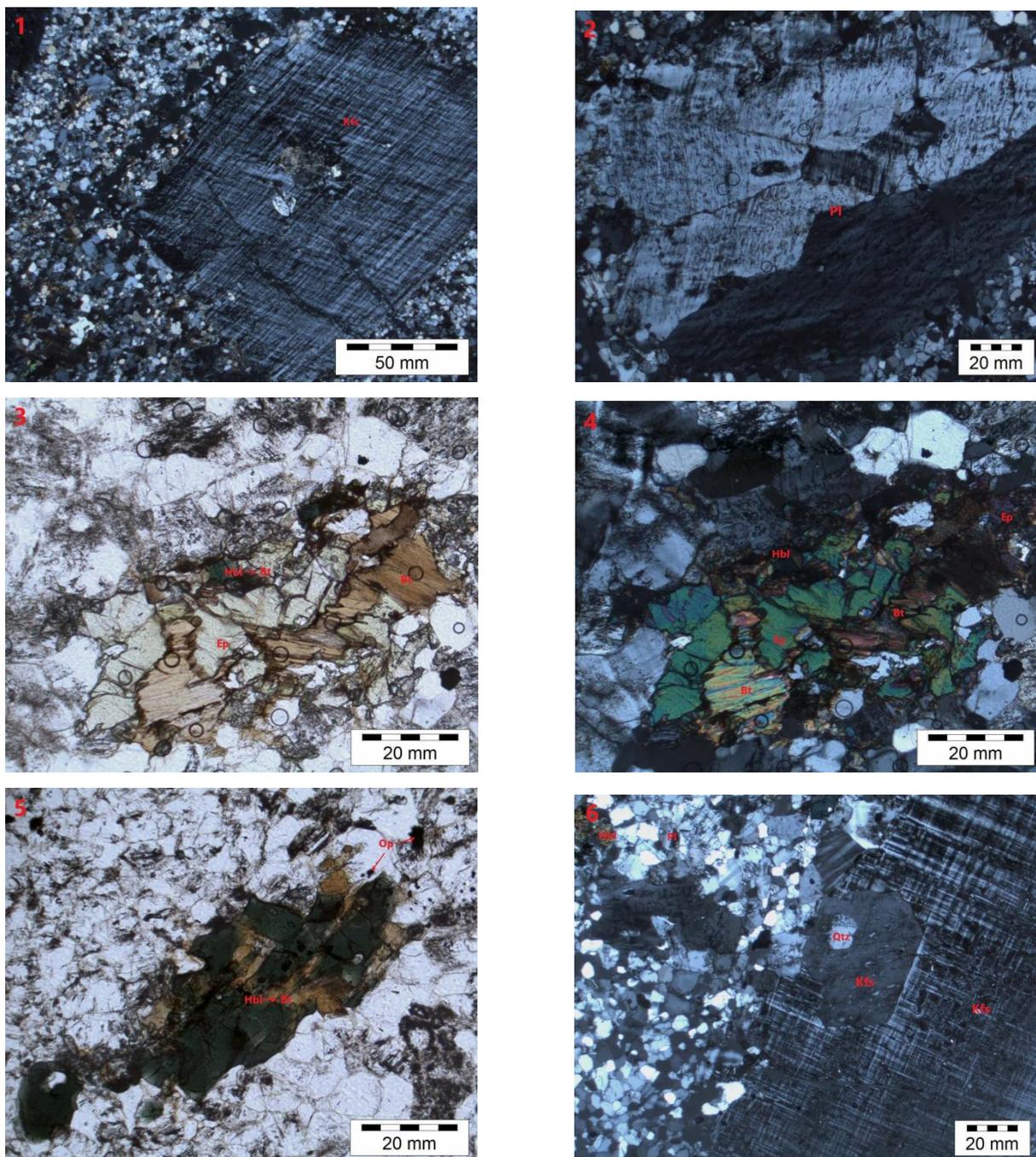
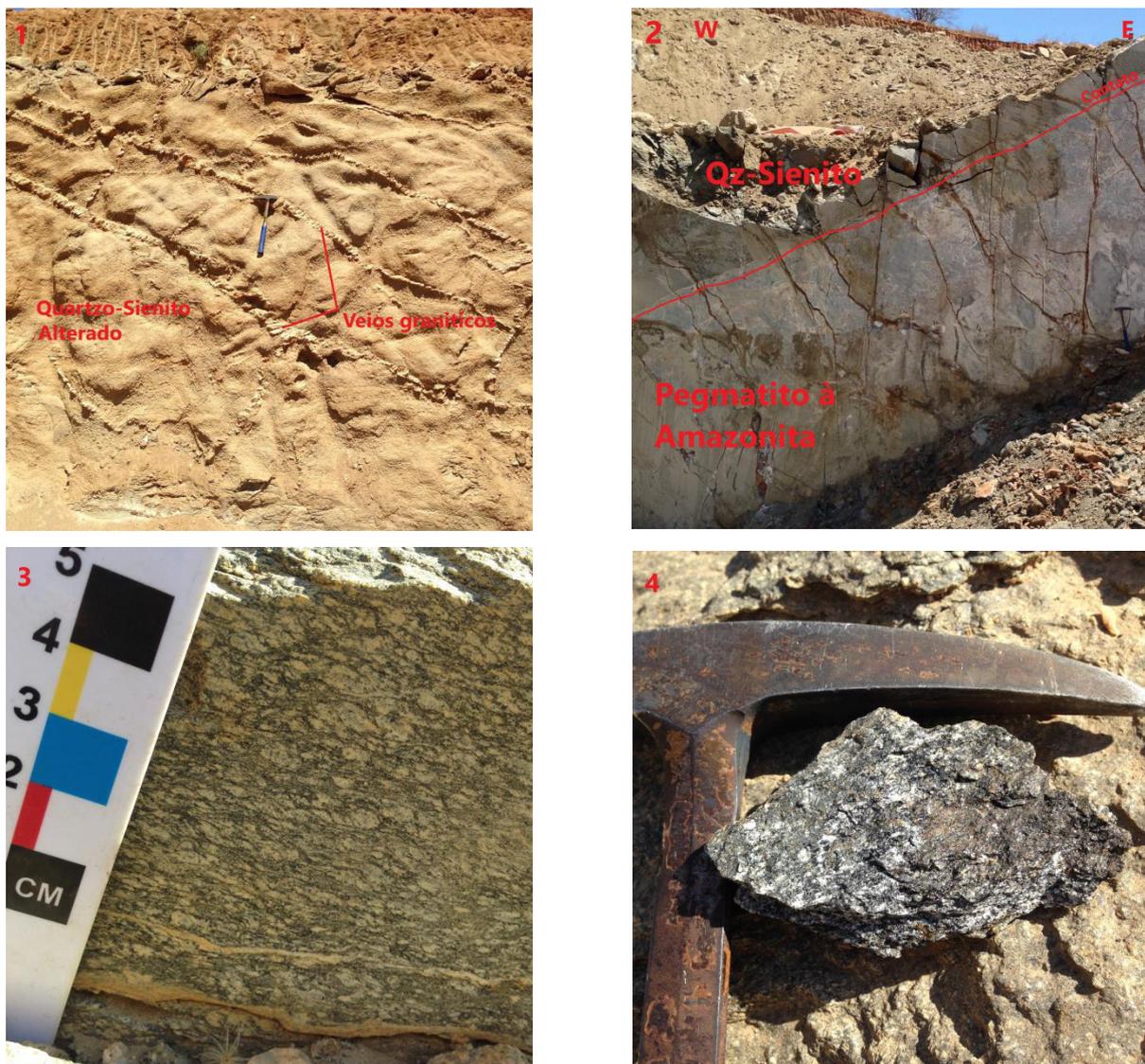


Figura 32 – Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de álcali-feldspato granito pórfiro. Foto 1) Fenocristal de feldspato potássico com geminação Albita-Periclina típica do microclínio apresentando inclusões de quartzo e pertitas e fazendo contato com matriz de granulação mais fina. Foto 2) Cristal de plagioclásio micropertítico com geminação calsbad. Foto 3 e 4) Cristais de epidoto anédrico e hornblenda de pleocroísmo verde-escuro associados a biotita. Foto 5) Alteração de hornblenda para biotita. Foto 6) Fenocristal de feldspato potássico anédrico com inclusão de feldspato potássico euédrico de hábito hexagonal sendo este último também incluído de cristal de quartzo e pertitas, esse conjunto contrasta com a matriz mais fina.

### **6.14 Quartzo-Sienito**

Ocorre na porção central da área mapeada como rocha encaixante de um dique de pegmatito à amazonita, este último lavrado em uma cava de mina para fins ornamentais. Na maior parte da cava da mina, mais precisamente na ocorrência do pegmatito, esta rocha tem com cor castanha escura, oxidada e com grau de alteração intempérica variável, de baixo à alto (Figura 33 – Foto 1). O dique de pegmatito à amazonita funciona como uma proteção às rochas quartzo-sieníticas que se encontram sob ele (Figura 33 - Foto 2), protegendo a rocha da alteração intempérica (Figura 33 – Foto 3), de modo que nessa condição a rocha sienítica se apresenta em cor ainda mais escura e com variegados esbranquiçados, tal coloração se deve por cristais de até 5mm de feldspato potássico envoltos por matriz máfica formada principalmente por biotita e subordinadamente por piroxênios. Apresenta foliação, granulação fina e textura granonematoblástica.

Diques de composição sienogranítica e granulação fina também são vistos cortando o afloramento de quartzo-sienito. Fraturas inversas podem ocorrer de forma a bascular o conjunto quartzo-sienito e pegmatito à amazonita.



**Figura 33 – Foto 1) Parede da cava de mina de quartzo-sienito alterado e cortado por veios graníticos. Foto 2) Quartzo-sienito em contato com pegmatito à amazonita. Foto 3) Fotografia de detalhe de quartzo-sienito onde é possível observar os cristais de feldspato potássico em meio a matriz máfica composta de biotita e piroxênios. Foto 4) Amostra de quartzo-sienito não alterado demonstrando sua coloração escura.**

Em seção tem-se:

K-Feldspato (48%) - Grandes cristais de feldspato potássico hipidiomórficos, medindo os maiores em torno de 5,0mm de comprimento, geralmente pertíticos e micropertíticos e ainda com traços da maclas em tartan típica do microclínio, ambos associados à geminação carlsbad que é comum ao ortoclásio. Processos pós-magmáticos resultaram no desenvolvimento de microclínio a partir do ortoclásio. Devido ao processo de alteração hidrotermal mostram-se com fraturas irregulares e com oxidação.

Plagioclásio (8%) - Os cristais de plagioclásio são hipidiomórficos, com fraturas e com geminação da Albita composta.

Quartzo (5%) - O quartzo ocorre em raros cristais anédricos e intersticiais aos feldspatos.

Biotita (21%) - A biotita forma porções aglomeradas com material argiloso amarelado e oxidado (esmectita) e com restos de clinopiroxênio (aegirina-augita), apatita, titanita e opacos. Nas porções oxidadas a biotita ocorre em grandes cristais tabulares, com pleocroísmo variando de castanho-amarelado e pardo-acastanhado e pardo-amarelado, com intenso processo de oxidação devido à alteração hidrotermal. Contêm inclusões de titanita e de opaco (ilmenita). Alguns aglomerados de biotitas pardo-acastanhados e pardo-amarelados contêm geralmente restos de clinopiroxênio (aegirina-augita) verde oxidados, indicando com isso uma origem secundária, formada a partir deste por processo de alteração hidrotermal. Associados à biotita têm-se ainda cristais anédricos de apatita, epidoto e de titanita e opacos.

Clinopiroxênio (5%) - Os cristais de clinopiroxênio (aegirina-augita) são prismáticos e com aspecto fibroso, alguns com birrefringência alta e outros com birrefringência baixa em tons verde-pálido e a luz natural com cor também verde-pálido e alguns com alterações para actinolita e ao longo das fraturas para biotita e outros totalmente oxidados e com contribuição para formação de opaco (óxido de ferro).

Actinolita (2%) – Formados a partir da alteração hidrotermal do clinopiroxênio.

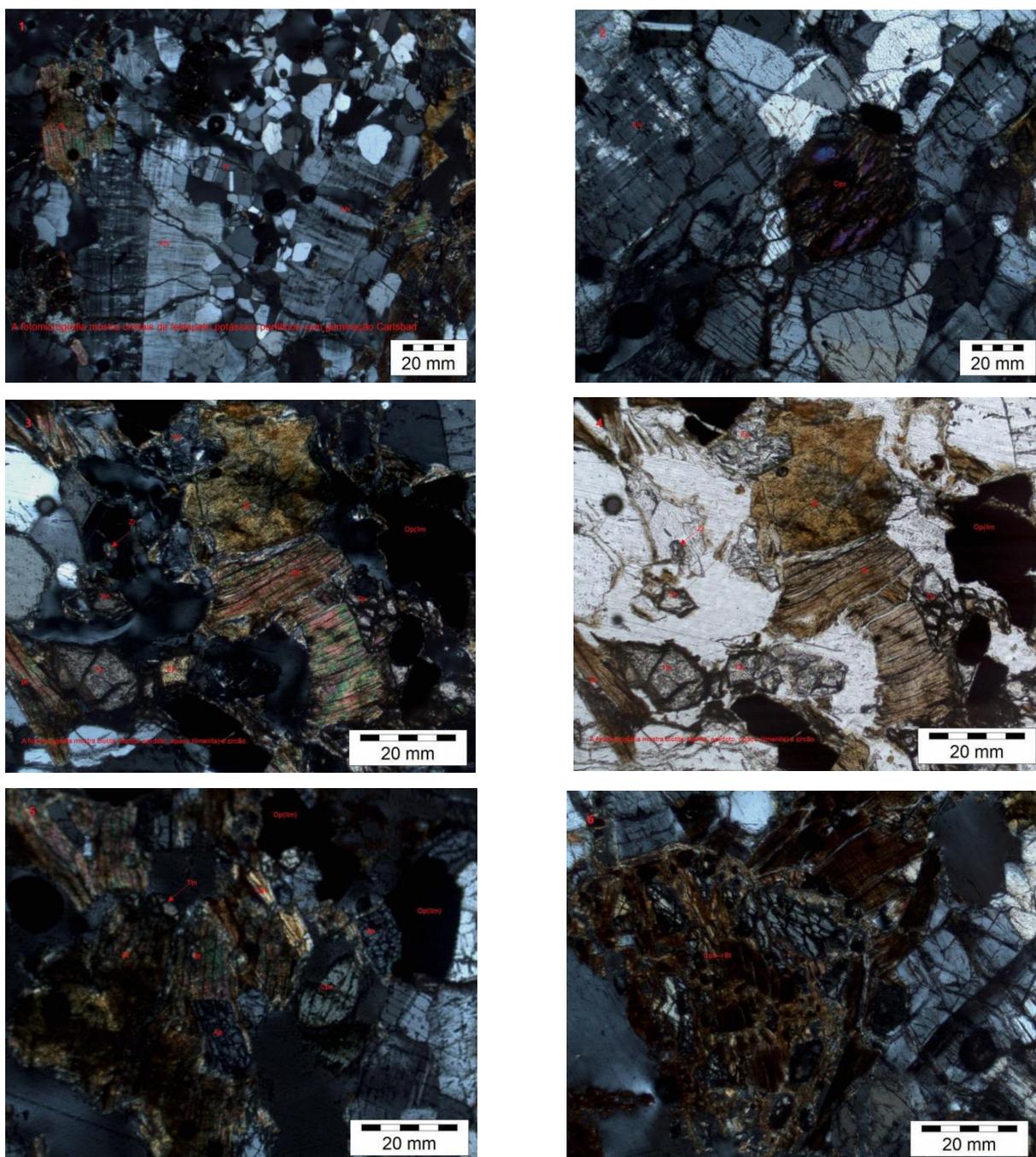
Apatita (3%) – Associada a biotita.

Titanita (3%) – Associada a biotita.

Epidoto (1%) – Associado a biotita.

Zircão (1%) – Incluso em cristal de quartzo e associado a titanita, epidoto e biotita.

Opacos (03%) - Os cristais de opacos (ilmenita-hematita) são anédricos, quase sempre associados as biotitas pardo-amareladas e a restos de clinopiroxênio.



**Figura 34 – Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de quartzo-sienito. Foto 1 – Cristais de feldspato potássico pertíticos com geminação calssbad associado a quartzo, biotita de plagioclásio. Foto 2 – Cristal de cpx. Foto 3 e 4 – Cristais de biotita, titanita, epidoto, opaco (ilmenita) e zircão a nicóis cruzados e descruzados respectivamente. Foto 5 – Cristais de apatita e cpx associados a biotita a nicóis cruzados. Foto 6 – Cpx alterado para biotita.**

### 6.15 Pegmatito à Amazonita

Foram mapeadas três ocorrências de dique de pegmatito à amazonita. O principal afloramento ocorre em forma de dique tabular de 2,5m por 500m de comprimento, com atitude de 45° para 280°Az, encaixado em rochas ígneas plutônicas a oeste da área mapeada, principalmente em quartzo-sienito. Esse dique

também corta algumas lentes de anfíbolitos e outros litotipos (Figura 35 – Foto 1). Desta ocorrência são extraídos blocos para fins ornamentais. As duas outras ocorrências são pequenas, uma aflora a sul (Figura 35 – Foto 2) e outra a norte da área (Figura 35 – Foto 3). A rocha tem coloração principalmente azul-esverdeada, mas também com porções creme-esbranquiçadas com variegados roxos e escuros. Sua granulometria é grossa, típica de pegmatito, com cristais de amazonita e quartzo centimétricos a decimétricos. Alguns dos cristais de amazonita chegam a ter 70cm x 25cm, enquanto alguns cristais de quartzo 23cm x 20cm (Figura 36 – Foto 1 e 2). Estão presentes também plagioclásio, lamelas de biotita, variegados de fluorita, cristais de magnetita e galena, *clots* de óxido de magnésio e de óxido de ferro (indicando que o fluido apresentava voláteis) e fraturas preenchidas por enxofre (Figura 36 – Foto 2 e 6).

O plagioclásio pode ocorrer preenchendo fraturas em meio aos cristais de amazonita ou podem formar textura acumulada e granular lembrando cristais de açúcar, o que confere ao dique de pegmatito uma aparente zonação (Figura 36 – Foto 3). Temos então uma “zona 1” definida por amazonita, quartzo, biotita, sulfeto, galena e óxidos de Mg e Fe, e uma “zona 2” rica em quartzo e plagioclásio granulares. No entanto essa “zonação” não apresenta uniformidade dentro da rocha e por vezes as massas de plagioclásio ocorrem em formas de grandes bolhas, de modo que o zoneamento pegmatítico talvez não seja o termo mais correto a ser utilizado.

O corpo pegmatítico é altamente fraturado, o que se deve a própria clivagem do microclínio que possibilita a formação de fraturas devido aos processos intempéricos como também ao sistema de fraturas atuantes na área. Por vezes podem ser percebidas um sistema de falhas inversas basculando o conjunto pegmatito e rocha encaixante (Figura 36 – Foto 4). Normalmente alguns cristais de magnetita encontram-se associados a pequenas fraturas que parecem irradiadas destes, ficando a dúvida se talvez tais fraturas não sejam produto da alteração de  $Fe^{2+}$  para  $Fe^{3+}$  na qual há diminuição do volume mineral (Figura 36 – Foto 5).



Figura 35 – Foto 1) Principal ocorrência de dique de Pegmatito à Amazonita com sentido de mergulho de  $280^{\circ}\text{Az}$  aflorando no ponto 53. Foto 3) Ocorrência de Pegmatito à Amazonita aflorando no ponto 19. Foto 4) Ocorrência de Pegmatito à Amazonita aflorando no ponto 45.

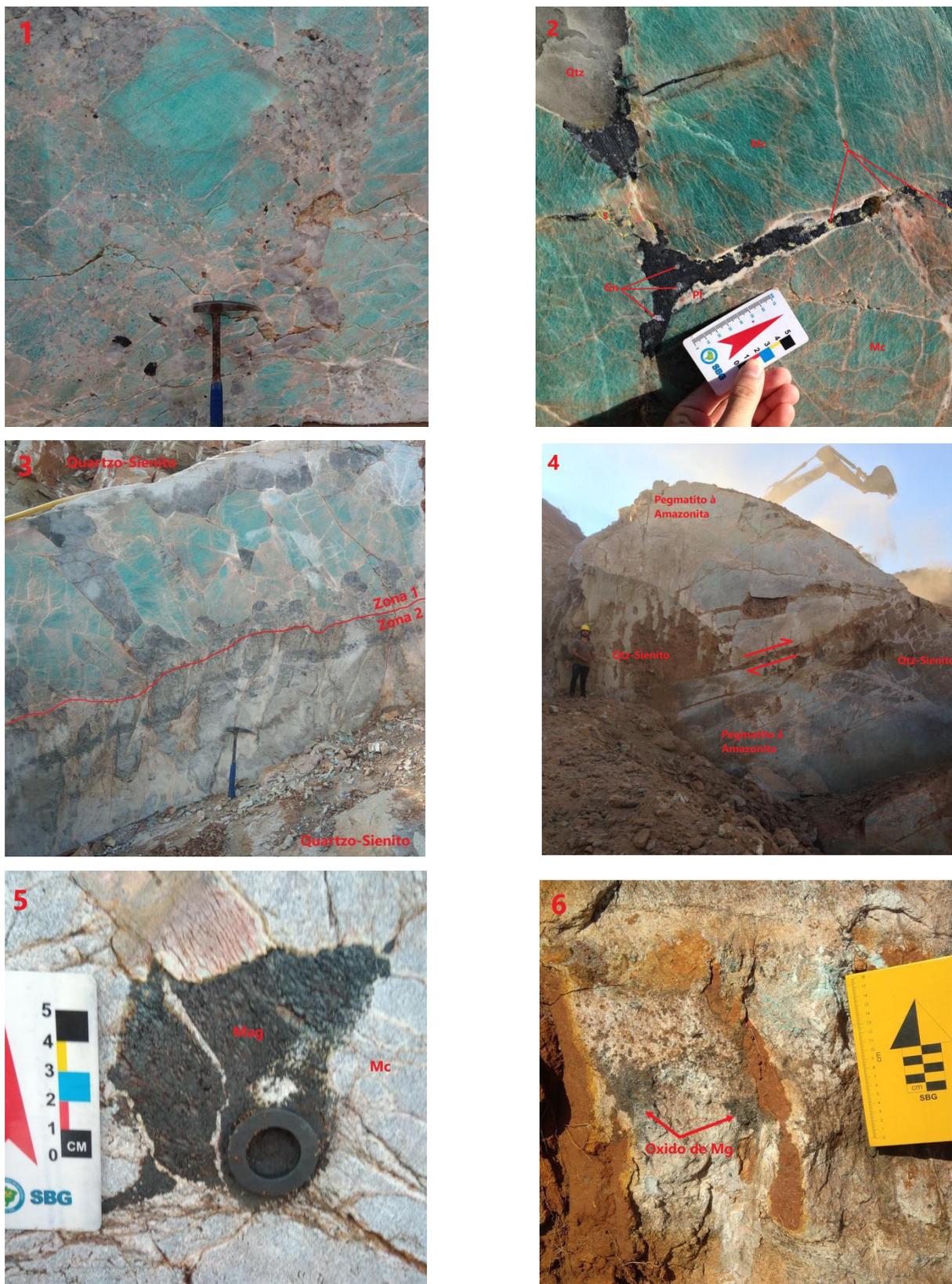
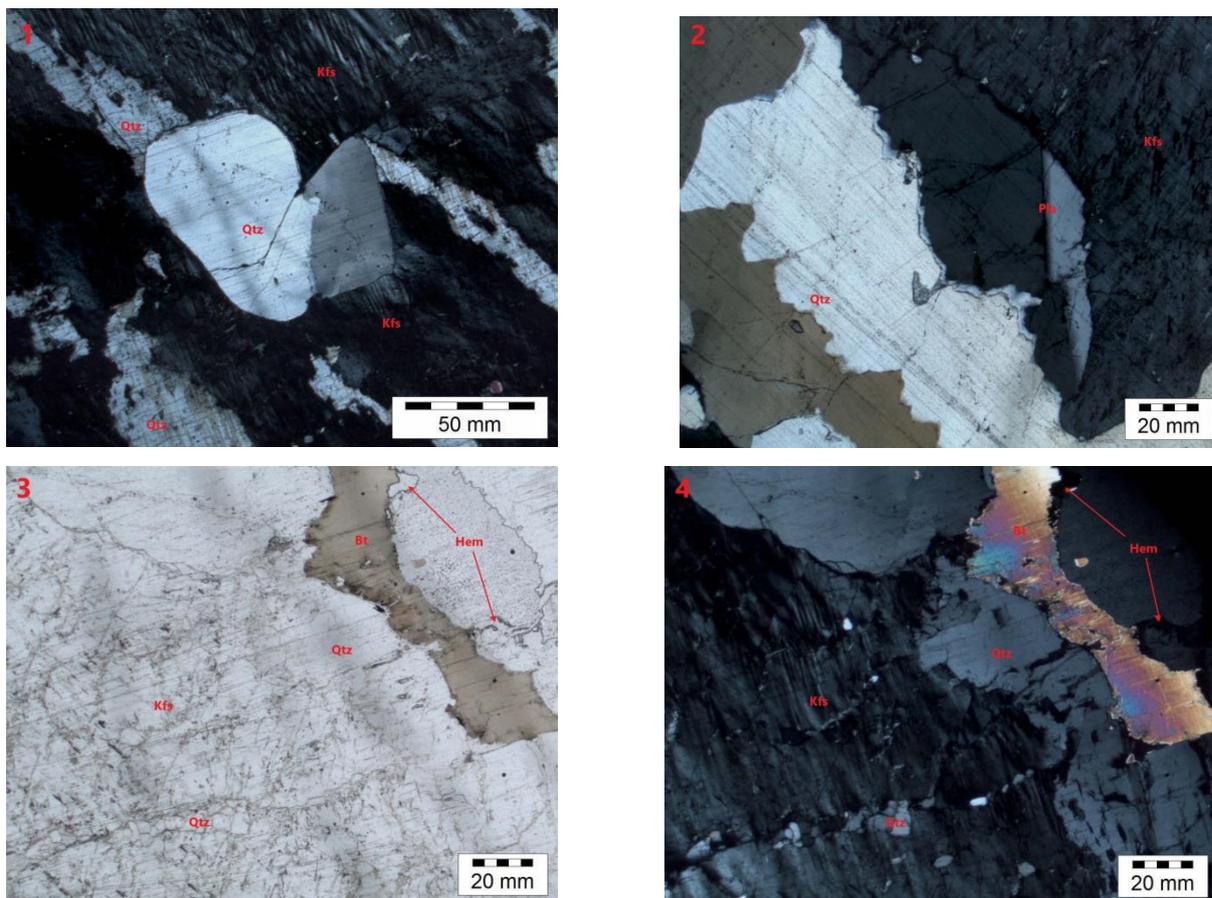


Figura 36 – Foto 1) Grandes cristais de microclínio esverdeados típicos do pegmatito à amazonita. Foto 2) Assembleia mineral presente no pegmatito à amazonita. Foto 3) “Zonação” presente no pegmatito à amazonita. Foto 4) Falha inversa basculando o conjunto pegmatito à amazonita x quartzo-sienito. Foto 5) Cristal de magnetita em pegmatito. Foto 6) óxidos de magnésio presentes no pegmatito à amazonita.

Em seção têm-se um grande cristal feldspato potássico micropertítico com traços ainda do microclínio e com inclusões de quartzo euédricos e anédricos e neoformados ao longo de fraturas e formando hastes angulares caracterizando a textura gráfica. Contêm também inclusões de plagioclásio com geminação carlsbad e de biotita acastanhada e de opaco (hematita). O crescimento rápido do feldspato potássico, em condições saturadas de voláteis, resultou em saturação de quartzo, bem como na presença de plagioclásio, biotita e opaco ao longo da interface irregular do cristal feldspato potássico.



**Figura 37 – Fotomicrografias de seção delgadas da amostra de pegmatito à amazonita. Foto 1) Contexto mineral geral da amostra em sessão delgada onde se observa cristais de feldspato potássico com traços de micriclínio e com inclusão de quartzo euédrico e neoformado ao longo de fraturas. Foto 2) Plagioclásio com geminação calsbad fazendo contato a esquerda com cristal de quartzo e a direita com o feldspato potássico. Foto 3 e 4) Biotita lamelar associada a hematita a quartzo e feldspato potássico.**

## 7. GEOLOGIA ESTRUTURAL

Neste capítulo descrevem-se os elementos estruturais da área mapeada tendo como base os dados obtidos em campo que caracterizam as principais feições estruturais formadas durante duas orogêneses, a Transamazônica e a Brasileira.

Em campo foram identificadas quatro fases deformacionais, duas dúcteis e duas rúpteis. A primeira é uma fase dúctil ( $D_n$ ) ocorrida durante a orogênese Transamazônica e é representada por ortognaisses do Complexo Caicó; em seguida ocorre uma fase de transcorrência dextral ( $D_{n+1}'$ ) durante a orogênese Brasileira que gera foliações verticalizadas; e por fim, duas fases rúpteis, uma representada por diques graníticos concordantes com o *trend* da foliação regional ( $D_{n+1}''$ ) em uma fase tardia da orogênese Brasileira e outra representada por fraturas, veios quartzo-feldspáticos e diques pegmatíticos ( $D_{n+1}'''$ ) que ocorrem posteriormente à orogênese.

### 7.1 Fase Dúctil

As estruturas dúcteis identificadas na área mapeada correspondem a dobras, foliações, minerais sigmoidais e boudins.

#### 7.1.1 Dobras

As dobras apresentam-se em ortognaisses do Complexo Caicó (Figura 38) situados predominantemente na porção nordeste da área mapeada e pontualmente na porção sul. Algumas destas dobras encontram-se sobrepostas pela lineação dos minerais e não apresentam raízes das foliações antigas. Foram identificadas dobras do tipo ptigmáticas, intrafoliais, sequências de dobras antiformes e sinformes e dobras cerradas em "Z". Estas informações sugerem que tais feições foram geradas pelos eventos de deformação transamazônicos ( $D_n$ ) que originaram os gnaisses e migmatitos do complexo Caicó e apresentam forte influência de eventos posteriores.

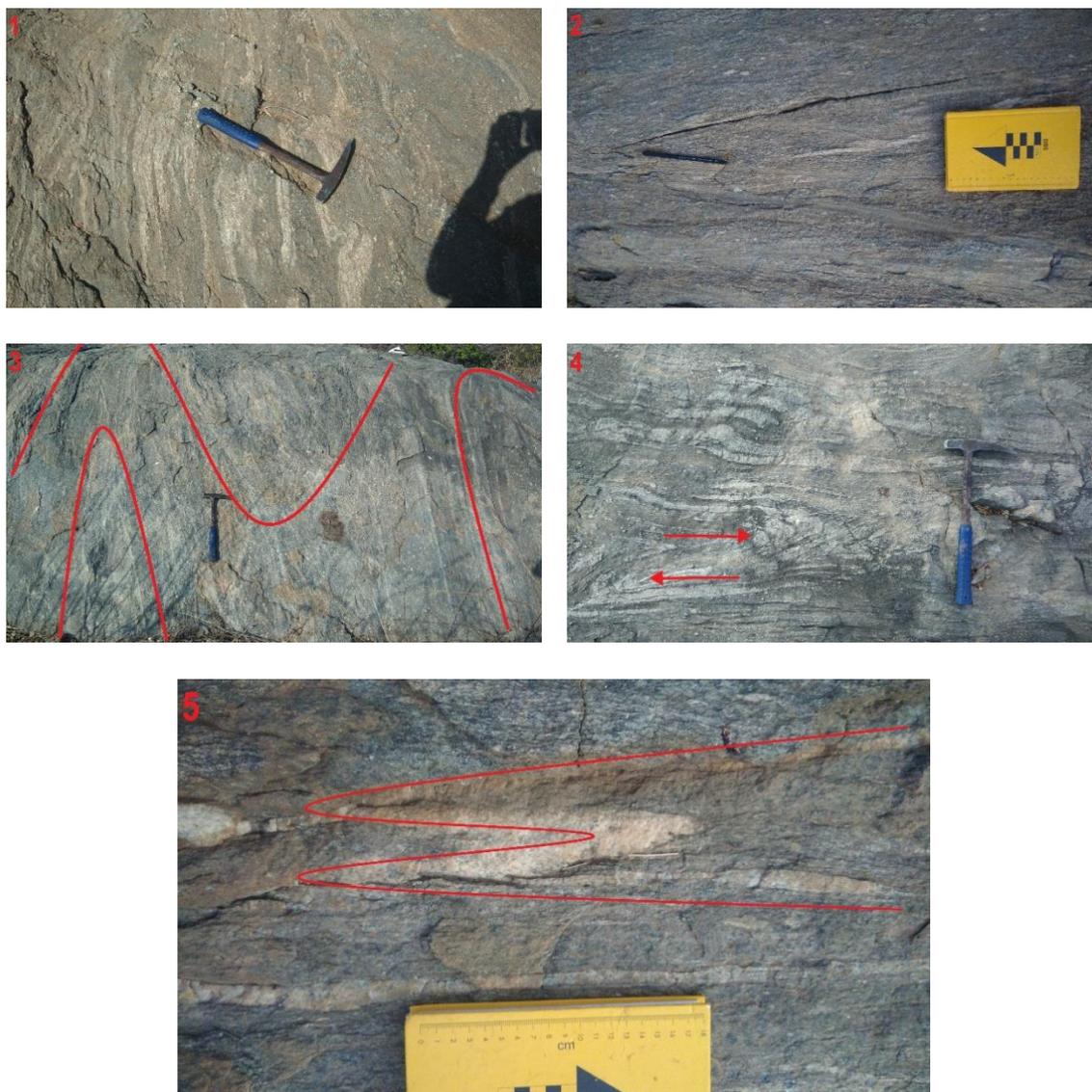


Figura 38 - Foto 1) Dobras ptigmáticas. Foto 2) Dobra intrafolial cerrada. Foto 3) Sequência de dobras antiforme-sinforme. Fotos 4 e 5) Dobras em “Z” indicando a cinemática dextral dos movimentos tectônicos.

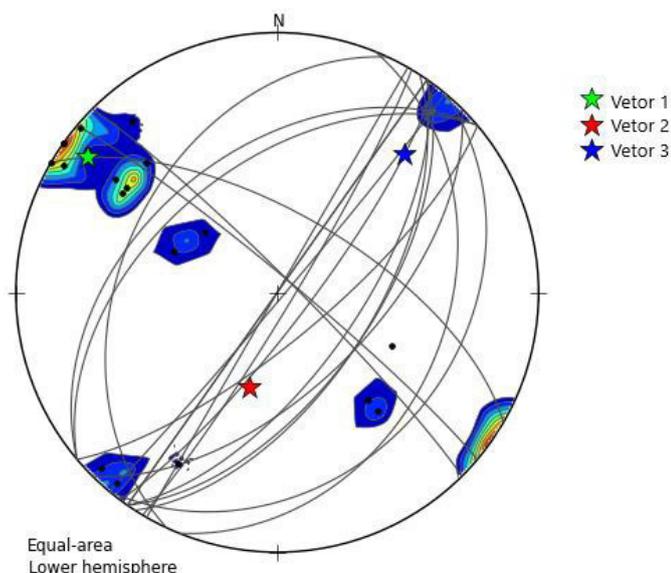
### 7.1.2 Foliações

As foliações localizam-se principalmente nos litotipos mapeados na porção leste com mergulhos variando de médio a alto grau. Devido ao alto grau de retrabalhamento e sucessivas sobreposições de eventos, os ortognaisses pórfiros (Figura 39 – Foto 1) apresentam foliações com atitudes muito variáveis ( $85^{\circ}/40^{\circ}\text{Az}$ ,  $50^{\circ}/140^{\circ}\text{Az}$ ,  $75^{\circ}/135^{\circ}\text{Az}$ ). O protomilonito (Figura 39 – Fotos 2 e 3) possui foliação subvertical ( $80^{\circ}/307^{\circ}\text{Az}$ ,  $88^{\circ}/305^{\circ}\text{Az}$ ,  $88^{\circ}/300^{\circ}\text{Az}$ ) que juntamente com o cataclasito, cuja foliação possui atitude de  $65^{\circ}/125^{\circ}\text{Az}$ , apresentam os mergulhos mais intensos da área. Por fim, as rochas cálcio-silicáticas (Figura 39 – Foto 4) apresentam foliações com mergulhos de médio ângulo, com atitude de  $40^{\circ}/295^{\circ}\text{Az}$ . Com base nesses dados sugere-se que as foliações estejam relacionadas às zonas de

cisalhamento originadas pelos eventos de transcorrências no pico da orogênese Brasileira (Dn+1') devido aos mergulhos de alto grau e as direções que coincidem com os lineamentos regionais do Domínio Rio Grande do Norte.



Figura 39 - Foto 1) Foliação de ortogneisse com atitude de 75°/140. Fotos 2 e 3) Foliação do protomilonito verticalizada e com trend para NE entre 35° e 40°. Foto 4) Rocha cálcio-silicática com foliação mergulhando 40° para 295° Az.



**Figura 40 - Diagrama de polos dos planos de foliação mostra trend predominante de direção NE-SW e mergulhos de médio a alto ângulo variando entre 40° e 90°.**

### **7.1.3 Sigmóides de deformação e boudins**

Foram identificados porfiroblastos de feldspato potássico sigmoidais (Figura 41 – Fotos 1, 2 e 3) em ortognaisses e protomilonitos, dispostos de forma rotacionada ou deformada predominantemente segundo cinemática dextral e subordinadamente sinistral. Em um afloramento de ortognaisse pórfiro na porção sul da área também foram vistos nódulos de anfibólio com sombras de pressão formando estruturas do tipo boudins (Figura 41 – Foto 4). Além disso, as rochas da área apresentam lineações minerais predominantemente para NE entre 30° e 40°Az. Tais estruturas encontram-se sobrepostas às deformações do Transamazônico. Essas informações sugerem que tais feições estejam relacionadas às transcorrências brasileiras ( $D_{n+1}$ ) que, devido ao cisalhamento dúctil, deformaram os minerais menos competentes e geraram os sigmoides de feldspato e as lineações minerais, enquanto os boudins de anfibólio podem ter sido gerados por zonas delgadas de cisalhamento dúctil confinada a uma camada mais competente.



Figura 41 - Foto 1) Cristal de feldspato potássico deformado por cinemática sinistral. Fotos 2 e 3) Cristais de feldspato potássico deformados por cinemática dextral. Foto 4) Nódulos de anfibólio apresentando boudinagem.

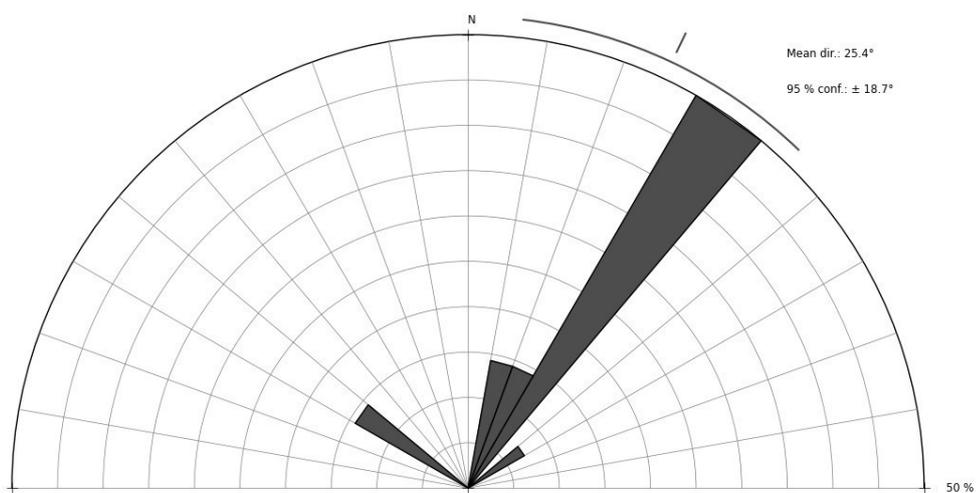


Figura 42 - Lineamento mineral com direção principal NE-SW variando entre 30° e 40° Az.

## 7.2 Estruturas rúpteis

As estruturas rúpteis presentes na área mapeada são representadas por diques de álcali-feldspato-granito com direção NE-SW, falhas, famílias de fraturas ortogonais e fraturas com direção NW-SE, algumas preenchidas por veios de quartzo e pegmatito à amazonita.

### 7.2.1 Diques

Os diques de álcali-feldspato-granito pórfiro (Figura 43, Figura 44 – Fotos 1 e 2) são os mais recorrentes na área de estudo e apresentam direções variando entre 30° e 40° Az, encontram-se concordantes com os lineamentos regionais e estão associados ao magmatismo Ediacarano aproveitando-se dos planos de foliações geradas pelas transcorrências brasileiras em uma fase tardia (Dn+1”). Em contraste com os diques de álcali-feldspato-granito pórfiro, ocorrem diques de pegmatito à amazonita (Figura 44 – Foto 3) com *trend* variável de 130°Az, 133°Az e 150°Az. Sugere-se que estes diques correspondem a fraturas do tipo “T” que ocorrem após a orogênese brasileira (Dn+1”)

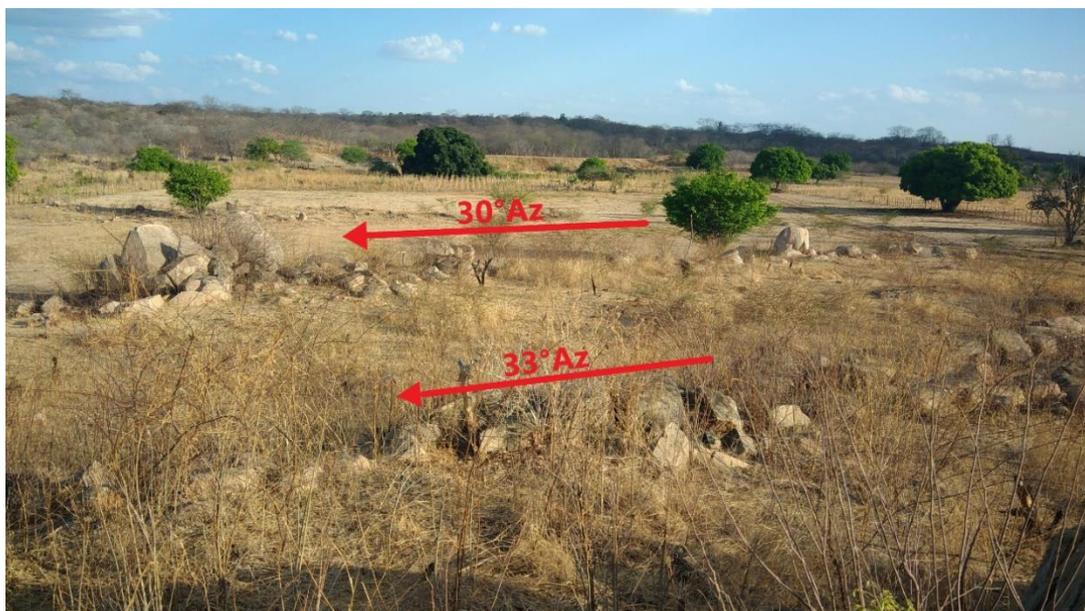


Figura 43 - Diques de álcali-feldspato-granito a 30° e 33° Az no nordeste da área.

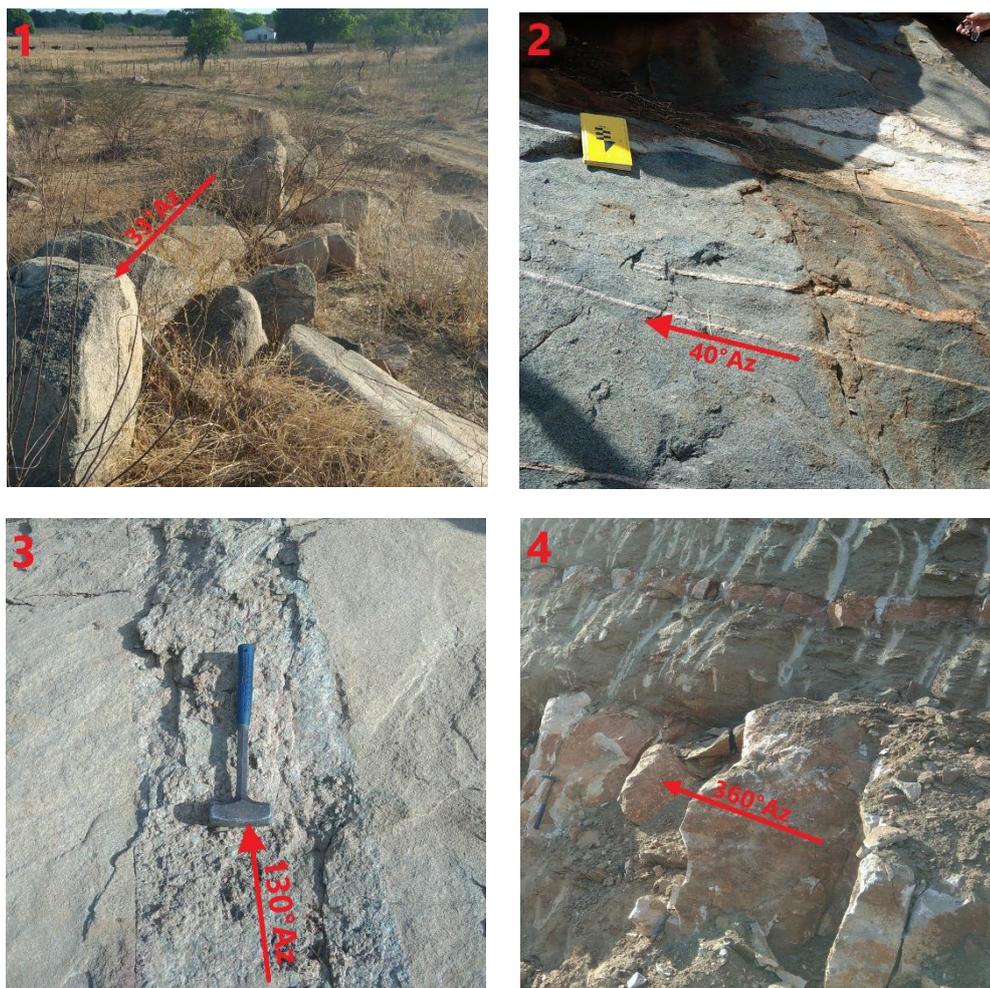


Figura 44 - Foto 1) Dique de àlcali-feldspato-granito a  $33^{\circ}\text{Az}$  próximo a afloramento de ortogneisse. Foto 2) Diques pegmatíticos quartzo-feldspáticos a  $40^{\circ}\text{Az}$  cortando afloramento de anfibolito. Foto 3) Dique de amazonita a  $130^{\circ}\text{Az}$  próximo a Mina Amazon. Foto 4) Dique granítico a N-S em uma das paredes da Mina Amazon.

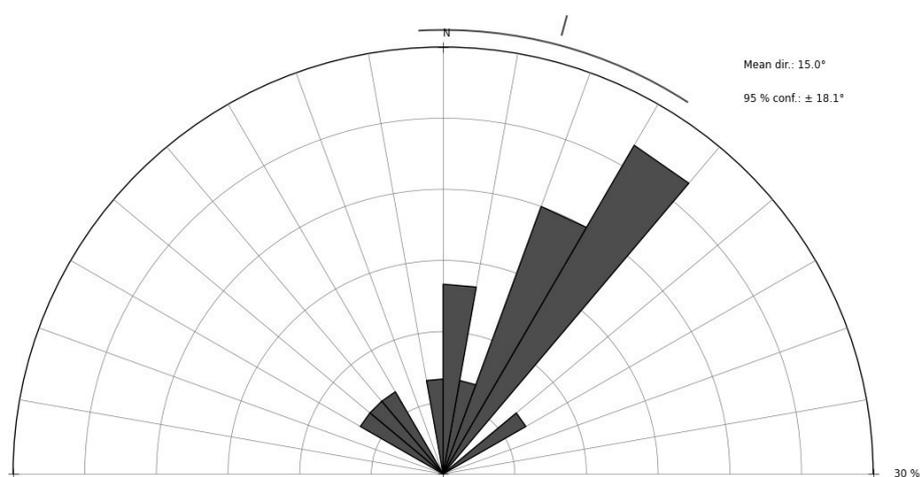


Figura 45 - Diagrama de roseta dos diques da região com direção principal NE-SW variando entre  $30^{\circ}$  e  $40^{\circ}$ .

### 7.2.2 Falhas e Fraturas

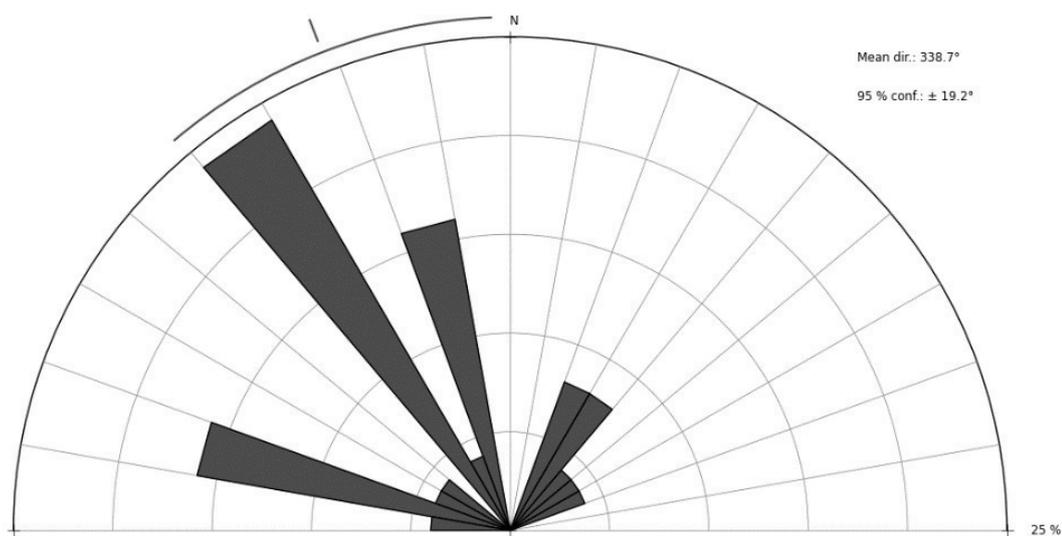
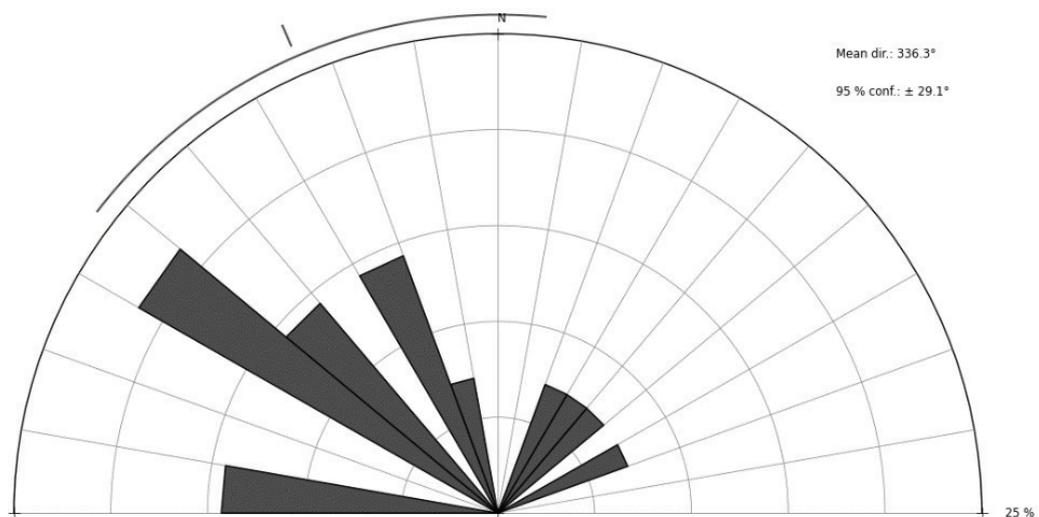
As fraturas podem ocorrer sem preenchimento (Figura 46 – Foto 1) ou preenchidas por veios de quartzo (Figura 46 – Foto 2), mostram-se em direções variadas, mas com notável predominância para NW-SE ( $130^{\circ}\text{Az}$ ,  $160^{\circ}\text{Az}$ ,  $100^{\circ}\text{Az}$ ) e cortam praticamente todas as litologias. Foram encontradas famílias de fraturas ortogonais (Figura 46 – Foto 3), uma para  $340^{\circ}\text{Az}$  e outra para  $65^{\circ}\text{Az}$ . Na mina de amazonita foram identificadas duas falhas inversas (Figura 47) que apresentavam uma cinemática dextral e truncavam o pegmatito à amazonita e a rocha encaixante, o quartzo-sienito. Com base nessas informações sugere-se que estas estruturas também correspondam a fraturas “R-T”, assim como os pegmatitos à amazonita ( $D_{n+1}$ ”).



Figura 46 - Foto 1) Fratura sem preenchimento a  $125^{\circ}\text{Az}$  cortando afloramento de ortognáisse. Foto 2) Veios de quartzo a  $110^{\circ}\text{Az}$  cortando rocha cálcio-silicática. Foto 3) Famílias de fraturas, uma NW-SE e outra NE-SE, formam ângulo de  $85^{\circ}$  entre si.



Figura 47 - Foto 1) Falha inversa em dique de pegmatito à amazonita na Mina Amazon. Foto 2) Falha inversa em quartzo-sienito em uma das paredes da mina. Foto 3) Detalhe dos diques quartzo-feldspáticos que cortam o quartzo-sienito e evidenciam cinemática dextral.



**Figura 48 - Diagramas de roseta das fraturas não preenchidas (acima) e fraturas preenchidas por veios (abaixo) mostram direção principal NW-SE.**

## 8. METAMORFISMO

Uma maneira de inferir as condições de pressão (P) e temperatura (T) encontradas em campo é plotando as principais reações metamórficas possíveis de ocorrerem dentro do diagrama P e T de grades metamórficas.

As associações minerais encontradas na área de estudo sugerem a atuação de três tipos de metamorfismo: i) Um metamorfismo regional, representado por uma associação metamórfica de fácies epidoto-anfibolito a anfibolito; ii) Metamorfismos de contato, marcado por rochas de fácies xisto-verde, epidoto-anfibolito e albita-hornfels; iii) Metamorfismo dinâmico, representado por rochas de fácies anfibolito .

A partir de diferenças texturais e mineralógicas, foi possível a determinação de associações metamórficas distintas, caracterizadas pela presença de um ou mais minerais índices, como microclínio, biotita, clorita, hornblenda, anfibólio, epidoto, rutilo, coríndon, tremolita e actinolita.

### 8.1 Metamorfismo regional (Mn')

Na área mapeada o metamorfismo regional, representado por ortognaisses e anfibolitos, é denominado de fase Mn'. As condições crescentes de temperatura desse evento atingem o pico metamórfico e atingem a anatexia. O evento Mn' regional está associado a deformação Dn de idade Transamazônica.

#### 8.1.1 Matriz poligonizada e recristalizada

Passchier & Trouw (1996) inferem algumas temperaturas necessárias para deformar minerais durante metamorfismo. O arranjo poligonal reflete o ajuste mútuo de cristais da mesma espécie mineral auxiliado por energia térmica, a fim de constituir um agregado termodinamicamente mais estável. Agregados monominerálicos de minerais, como feldspatos, carbonatos entre outros também podem exibir este hábito. No caso dos feldspatos, a recristalização estática de agregados monominerálicos ocorre apenas em temperaturas altas (comumente na fácies granulito,  $T > 700^{\circ}\text{C}$ ), enquanto que no quartzo ela pode ocorrer em temperaturas bem menores ( $T \geq 300^{\circ}\text{C}$ ).

#### 8.1.2 Ortognaisse pórfiro

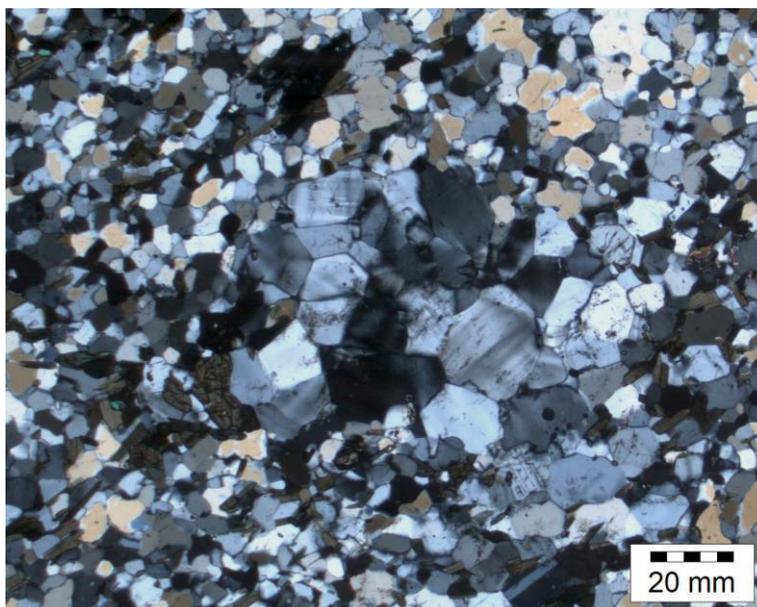
Dentre as rochas metamórficas mapeadas em campo podemos dizer que o ortognaisse pórfiro é um tipo de rocha de metamorfismo regional. Apresenta

recristalização mineral de quartzo e feldspatos em sua matriz, por vezes em arranjo poligonal (Figura 49), indicando ter atingido temperaturas de 700°C, ou o fácies anfibolito.

Considerando a associação mineral, é possível inserir o ortognaisse pórfiro na fácies epidoto-anfibolito. Este fácies constitui-se da transição entre os fácies xisto verde e anfibolito e não é distinguida por muitos autores. É formada por albita em equilíbrio com actinolita-hornblenda, com clorita e epidoto subordinados, clinozoisita abundante e, eventualmente, granada. A associação microclínio, epidoto e hornblenda visível na sessão delgada dos ortognaises pórfiros indica o pertencimento a este fácies. No entanto a presença de alguns leucossomas já indica que o estado de anatexia foi atingido.

A reação metamórfica de miscibilidade e imiscibilidade que pode estar associada a este litotipo:

- $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  (albita) +  $2(\text{K,Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$  (feldspato potássico)  $\rightleftharpoons$   $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  (microclínio)



**Figura 49 – Fotomicrografia de sessão delgada de amostra de ortognaisse pórfiro demonstrando a matriz de cristais de quartzo e feldspato potássico recristalizada poligonizada.**

## 8.2 Metamorfismo de contato

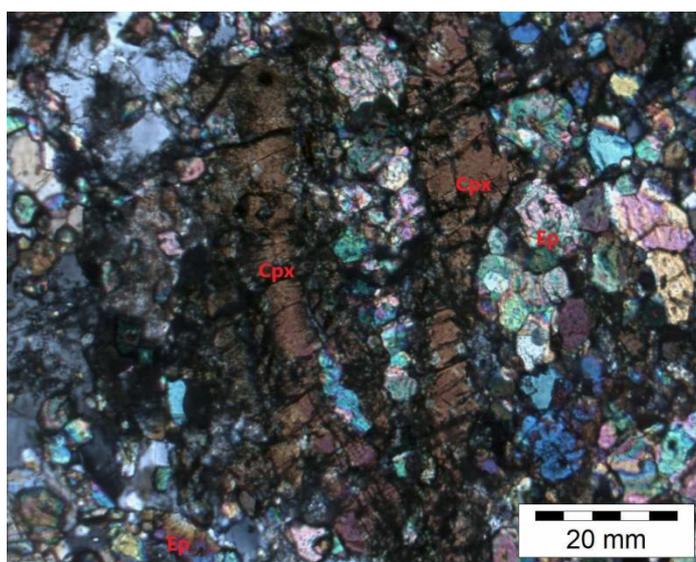
O metamorfismo de contato é resultado do aquecimento de uma intrusão ígnea com as rochas encaixantes. As rochas mais próximas à intrusão sofrem efeitos de temperatura maior, que decrescem com a distância relativa ao corpo. Sem

um efeito de pressão e deformação, e somente da temperatura, há cristalização e crescimento dos minerais metamórficos num arranjo aleatório, ou seja, sem foliação.

### **8.2.1. Cálcio-silicáticas**

Rochas cálcio-silicáticas são aquelas originadas a partir do metamorfismo de contato, normalmente de médio a alto grau, em sedimentos originalmente portadores de carbonato. Esses metassedimentos são ricos em Ca e Ca-Mg (tal como zoisita, grossulária, anfibólio e diopsídio) mas contém pouco ou nenhum carbonato (Yardley, 1989).

A presença significativa de epidoto associada aos clinopiroxênios (hendenbergita) e anfibólios (hornblenda-tremolita) indicam uma condição de médio grau metamórfico em fácies epidoto-anfibolito.



**Figura 50 – Fotomicrografia de cálcio-silicática mostrando a associação de cristais de epidoto e cristais de clinopiroxênio.**

### **8.2.2. Cornubianito**

São rochas de granulação fina e aspecto córneo, formada por metamorfismo de contato e composta de micas, quartzo e feldspatos (= hornfels pelítico).

A textura da matriz poligonizada tipo hornsfélsica e a associação mineralógica de plagioclásio albítico e hornblenda indicam que a rocha foi submetida a um metamorfismo de fácies albita-hornfels de temperaturas entre 300°C e 450°C e de baixas pressões.

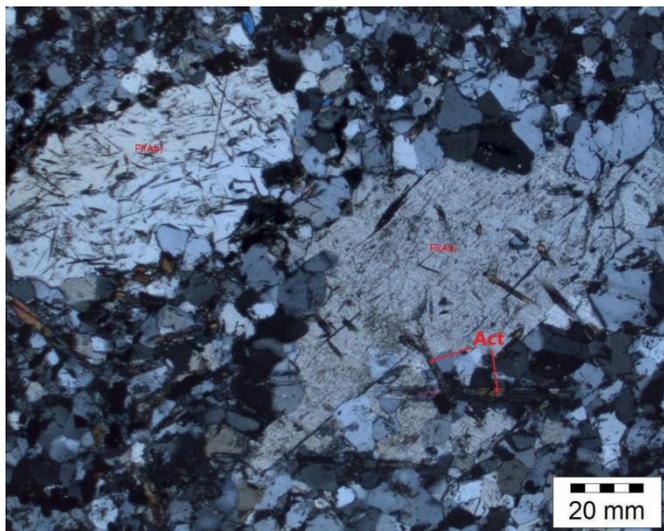


Figura 51 – Fotomicrografia de sessão delgada de cornubianito demonstrando a textura poligonizada tipo hornsfélica e associação de albita e hornblenda (actinolita).

### 8.2.3 Turmalina-clorita-gnaiss

A rocha mapeada em campo apresenta uma associação mineral entre clorita e rutilo. A clorita é um mineral índice de fácies xisto-verde, ou seja, baixo metamorfismo, normalmente associada a metamorfismo de contato. O rutilo normalmente está associado a condições de metamorfismo médio a alto, atingindo fácies anfibolito alto (MEINHOLD, 2010). A coexistência desses dois minerais no litotipo indica um *gap* de grau metamórfico muito alto, onde após alcançar o fácies anfibolito alto houve um retrometamorfismo para o fácies xisto-verde.

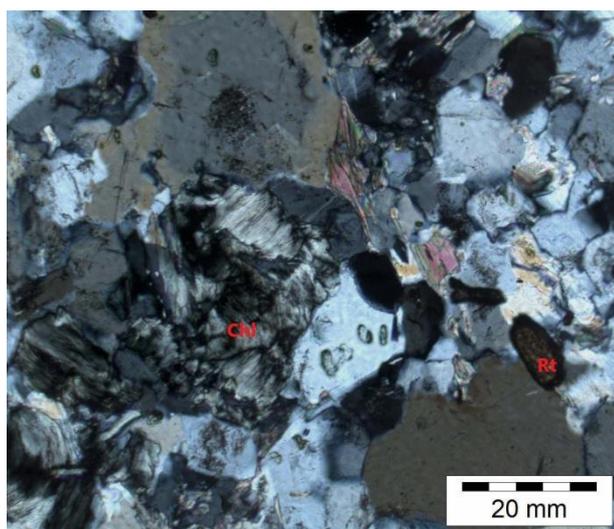


Figura 52 – Fotomicrografia de sessão delgada de turmalina-clorita-gnaiss demonstrando a coexistência de cristais de rutilo com folhas de clorita, indicando assim o retrometamorfismo do litotipo.

### **8.3 Metamorfismo dinâmico (Mn + 1)**

Na área o metamorfismo dinâmico, representado por protomilonitos e cataclasitos, é denominado de fase Mn +1 e possui orientação NE, vertical e é associada ao evento deformacional Dn +1 de idade Brasileira.

#### **8.3.1 Extinção ondulante**

Quartzo formado com temperaturas inferiores a 300°C apresentam microfraturamento, solução e transferência por pressão. A extinção ondulante ocorre em  $\pm 300^\circ\text{C}$ . Nos Feldspatos, em temperaturas menores que 300°C ocorre microfraturamento e fluxo cataclástico, enquanto entre 300°C e 400°C ocorre deformação dos cristais, deformação de geminações, extinção ondulante, lamélas de deformação e *kink bands* (Passchier & Trouw, 1996).

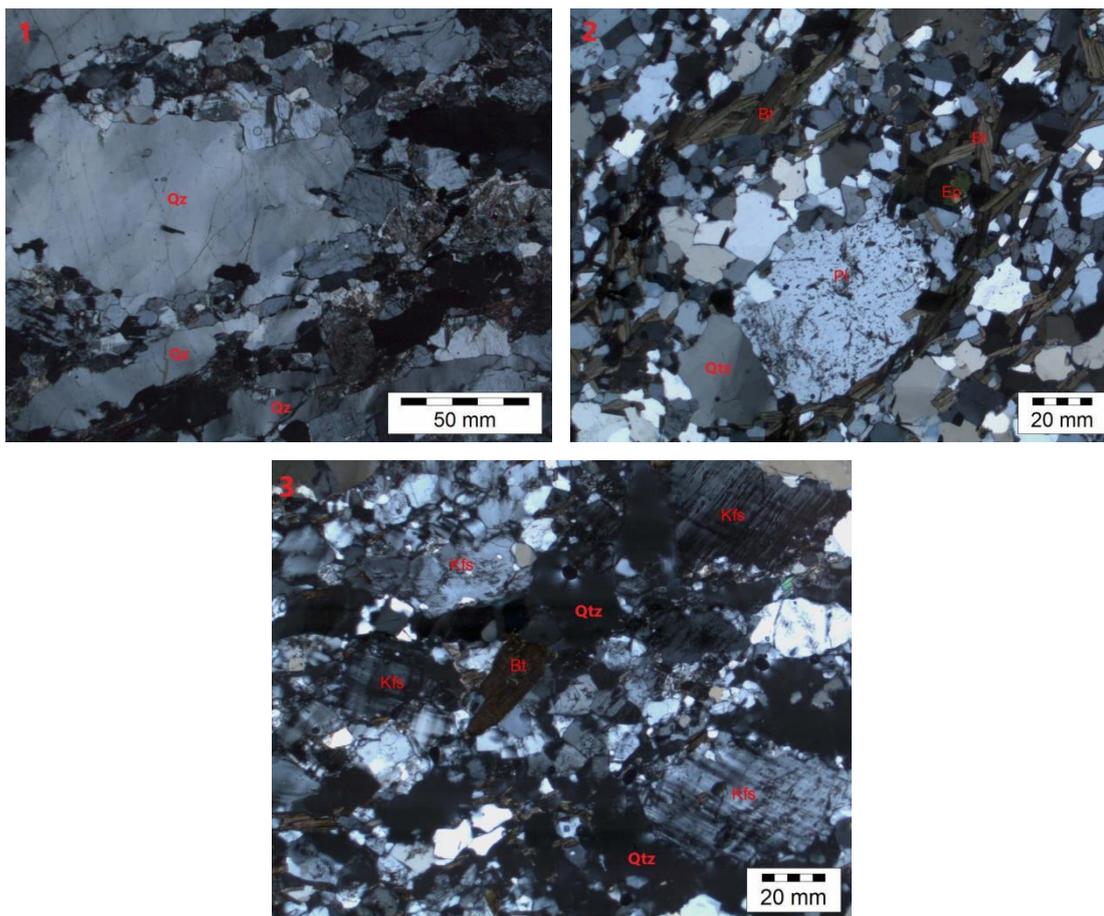
#### **8.3.2 – Protomilonitos e cataclasito**

Tanto os protomilonitos como os cataclásitos observados na área possuem texturas e associações minerais que possibilitam os inserir no campo do metamorfismo de fácies anfíbolito. As texturas são:

i) Nos protomilonitos propriamente ditos observam-se cristais de quartzo tardios do tipo “ribons” e com extinção ondulante sendo ilhados por cristais de feldspato e biotita;

ii) Nos protomilonitos (monzogranito pórfiros), temos os porfiroclastos de feldspato potássico e plagioclásio em meio a matriz de cristais de quartzo, feldspato potássico e plagioclásio recristalizados, lamelas de deformação em cristais de feldspato potássico da matriz, quartzo, por vezes alongados, com extinção ondulante, e biotita pardo-castanhada associada a epidoto;

iii) No cataclasito, porfiroclastos de feldspato potássico alongados e fraturados, ligeiramente rotacionados e recristalizados em subgrãos, matriz recristalizada em subgrãos, cristais de quartzo alongados e fraturados com extinção ondulante, além da presença de epidoto.



**Figura 53 – Fotomicrografias de sessão delgada de protomilonito, protomilonito (monzogranito pórfiro) e cataclasito demonstrando características do metamorfismo Mn +1. Foto 1) Cristais de quartzo tardios do tipo “ribons” e com extinção ondulante em protomilonito; Foto 2) Cristais de quartzo com extinção ondulante em meio a matriz recristalizada e foliação marcada por lamelas de biotita em protomilonito (monzogranito pórfiro); Foto 3) Porfiroclastos de feldspato potássico e cristais de quartzo com extinção ondulante e fraturados em meio a matriz recristalizada em cataclasito.**

#### **8.4 Diagrama P e T**

A área mapeada, de acordo com o que já foi visto anteriormente nesse trabalho, apresenta uma metamorfismo em que as condições de pressão e temperatura atuantes podem ser representadas em quatro fácies metamórficas, são elas: i) Fácies Albita-Hornfels; ii) Fácies Xisto-Verde; iii) Fácies Epidoto-Anfibolito; iv) Fácies Anfibolito. Esses intervalos podem ser representados no diagrama P e T (Figura 54 e 55) para melhor entender-se o metamorfismo atuante na área.

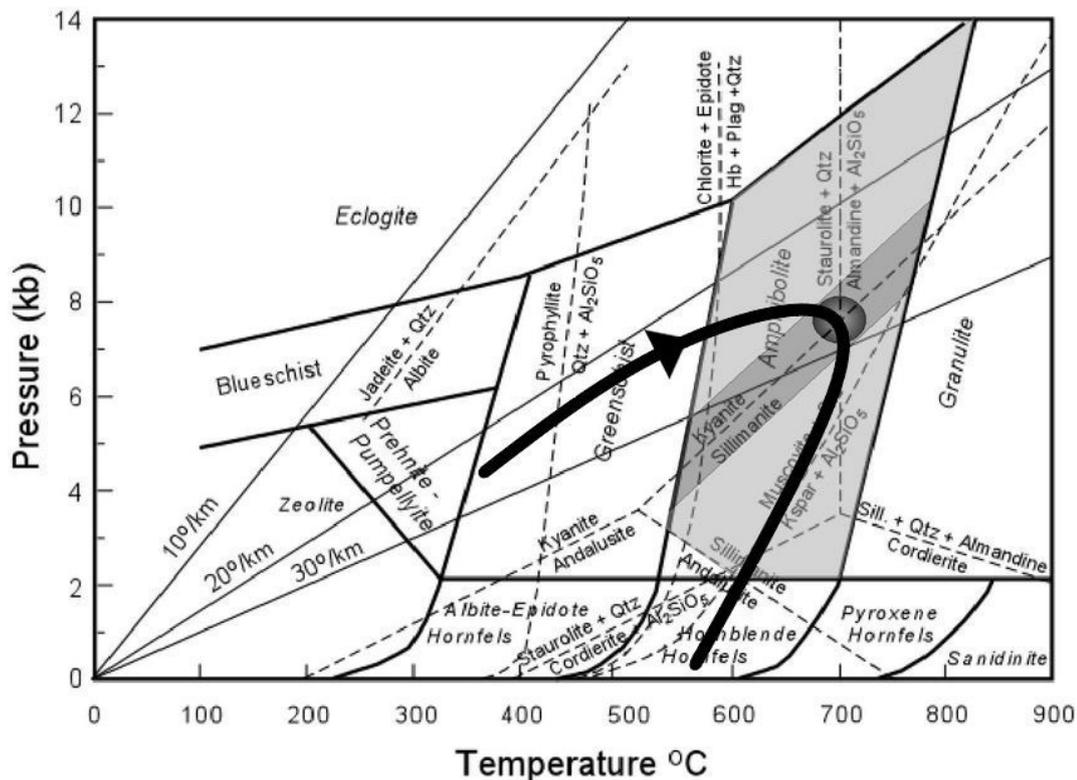


Figura 54 Diagrama P e T para o evento metamórfico Mn' Transamazônico. Modificado de Nelson (*Website*).

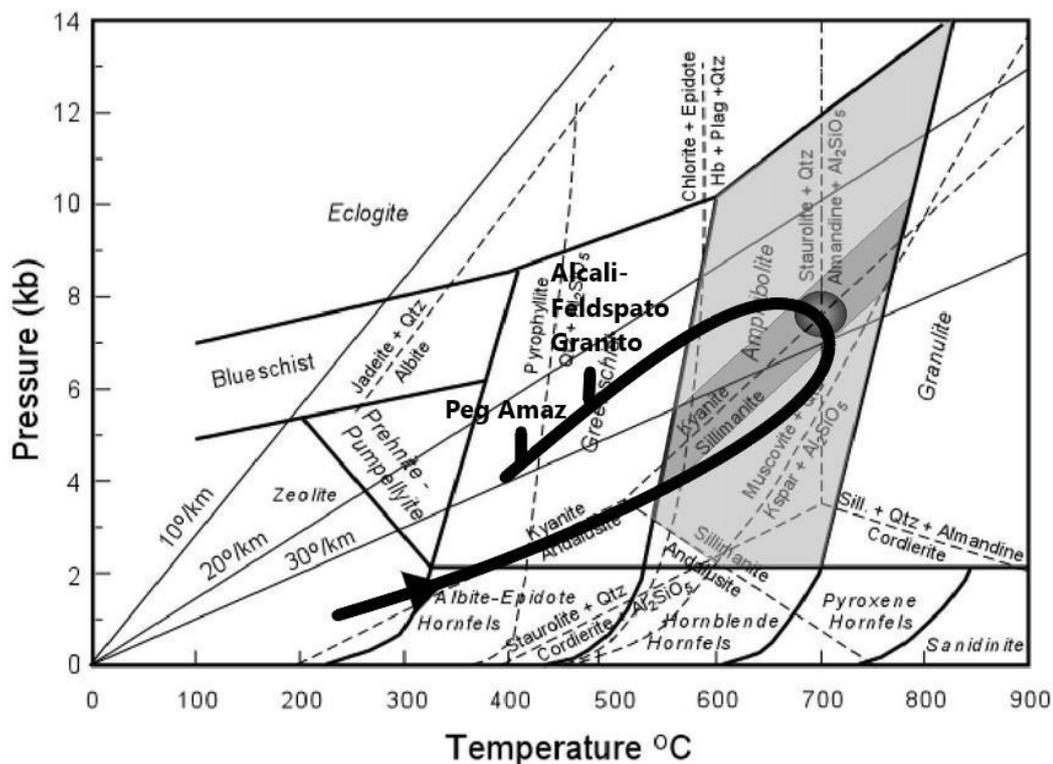


Figura 55 - Diagrama P e T para o evento metamórfico Mn + 1 Brasileiro. Modificado de Nelson (*Website*).

## 9. LITOESTATIGRAFIA

As unidades litoestratigraficas que caracterizam a área são os gnaisses, cataclasitos, protomilonitos, anfibolitos, cornubianitos, cálcio-silicáticas, sienogranitos pórfiros, monzogranitos, monzonitos, quartzo-sienitos, diques de álcali-feldspato granito e por fim diques de pegmatito mineralizados em amazonita ou simplesmente em quartzo e plagioclásio e cobertura flúvio-aluvionar.

IDADE		UNIDADE LITOESTATIGRÁFICA	LITOLOGIAS
FANEROZÓICO	Quaternário	Depósitos Flúvio-Aluvionares	Constituída por sedimentos de granulação fina à grossa, havendo uma variação quanto às características dos solos de cada unidade de acordo com o litotipo presente.
Proterozóico	Neoproterozóico (1000 - 540 Ma)	Pegmatitos	Alguns pegmatitos são mineralizados em amazonita. Outros são preenchidos por quartzo nas porções centrais e feldspato potássico nas bordas.
		Álcali-Feldspato Granito Pórfiro	Rocha leucocrática de coloração em tons amarelo creme, onde sobressaem pequenos pórfiros de feldspato potássico (medindo até 6,0mm de comprimento) em uma matriz quartzo-feldspática com traços de biotita.
		Sienogranito Pórfiro	Rocha de coloração em tons róseo-creme e com variegados esverdeados, granulação média, composta por pórfiros de feldspatos potássicos (medindo em torno de 6,0 mm de comprimento) e por anfibólios e clinopiroxênio.
		Monzonito	Rocha de coloração em tons róseo-esverdeada, granulação fina, composta por minerais feldspáticos e por máficos como clinopiroxênio, anfibólio e biotita.
		Monzogranito Leucocrático	Rocha leucocrática, com coloração levemente em tons creme a rosado, granulação fina, composição quartzo-feldspática e com algumas raras pontuações de biotita oxidada e de opacos.
		Quartzo-Sienito	Rocha de cor castanha escura, oxidada e um pouco friável, causados por processos de alteração hidrotermal local.
		Cataclasito (Sienogranito Pórfiro)	Rocha onde sobressaem porfiroclastos de feldspatos oclares e fraturados em tons creme-rosados envoltos por matriz de coloração em tons cinza-claros, granulação fina a grossa, composta por porfiroclastos de feldspato potássico fraturados e quartzo e com biotita orientada, apresentando uma textura milonítica a cataclástica.
		Protomilonito (Monzogranito Pórfiro)	Rocha leucocrática de coloração creme-esbranquiçada, com foliação bem definida pela orientação paralela de minerais félsicos quartzo-feldspáticos e de máfico como biotita.

		Protomilonito	Rocha de coloração em tons amarela-creme, com bandamento milonítico dado pela variação granulométrica de fina a grossa e composicional, composta por minerais félsicos quartzo-feldspáticos e máficos como biotita e opacos.
		Turmalina-Clorita-Gnaise	Rocha de coloração verde-claro, porém sobressaem pequenas porções em tons cinza-escuros a preto com características de clorita. Apresenta cristais de turmalina em meio a matriz de granulação fina e composta por feldspatos e clorita e muscovita.
		Cornubianito	Rocha de coloração cinza-claro a esverdeada, compacta e ligeiramente foliada a bandada, granulação fina, porém sobressaem pequenas manchas esbranquiçadas de plagioclásio.
		Cálcio-Silicáticas	Rocha de coloração creme com manchas verde-claras, compacta, textura granoblástica composta por epídotos e por plagioclásio, anfibólio e clinopiroxênio.
	Paleoproterozóico (2500 - 1600Ma)	Ortognaisse Pórfiro	Rocha cinza-claro, com variegados félsicos comum aos feldspatos, por vezes como porfiroclastos, entre máficos como biotita e opacos, ligeiramente orientados definindo assim a foliação.
		Plagioclásio-Anfibolito	Rocha de coloração cinza-escura a preta, textura granonematoblástica, granulação muito fina, composto por anfibólio e plagioclásio equidimensionais.
		Anfibolito	Rocha de coloração coloração verde-escura a preta e com variegados esbranquiçados, granulação fina, foliada, com textura granonematoblástica, composta por anfibólios

Fonte: Os Autores

## 10. EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

a) Estágio pré-colisional Transamazônico: Esta fase esta associada à cristalização do embasamento das rochas metassedimentares e metaplutônicas do Complexo Caicó. Legrand *et al.* 1991 e Legrand *et al.* (1997), determinaram idades U-Pb em zircão com valores de 2.242 – 6 Ma e 2.250 – 91 Ma, interpretadas, respectivamente, como idades de cristalização dos protólitos dos ortognaises. Na área mapeada os protólitos referentes a este estágio evolutivo são de três tipos: i) Protólito subvulcânico referente ao ortognaisse pórfiro; ii) Protólito vulcânico referente ao plagioclásio-anfibolito; iii) Protólitos plutônicos referentes aos anfibolitos, cataclasitos e protomilonitos.

b) Estágio colisional Transamazônico: Marcado pelo evento orogênico (Dn) informalmente referido como o Paleotransamazônico (2,3-2,15 Ga) (Jardim de Sá, 1994). Foram obtidas idades de 2.156,1 ± 5,6 Ma em biotita augen gnaise

granodiortico,  $2.151,7 \pm 7,6$  Ma em metagabro e  $2.146,5 \pm 4,4$  Ma em hornblenda-biotita ortognaisse tonaltico, interpretadas como idades de cristalização das rochas do Complexo Caicó que são diretamente associadas a deformação transamazônica (Dantas, 1992). Nesse estágio se formam as rochas sob metamorfismo regional na área mapeada, ou seja, os ortognaisses pórfiros, anfíbolitos, plagioclásio-anfíbolitos.

c) Estágio colisional Brasileiro: Esse estágio é referente ao magmatismo ediacarano (541Ma – 635Ma) representado na área mapeada por litotipos ígneos sin-orogênicos referentes a suíte Itaporanga ou suíte Dona Inês, sendo estes sienogranitos pórfiros, monzogranitos, monzonitos, quartzo-sienitos e diques de álcali-feldspato granito. Durante este magmatismo sofreram metamorfismo de contato os protolitos pegmatíticos, psamo-pelitos e sedimentares que geraram respectivamente os afloramentos de turmalina-clorita-gnaiss, cornubianito e cálcio-silicáticas. O metamorfismo Mn +1 associado a deformação Dn + 1 gerou os protomilonitos e cataclasitos.

d) Estágio pós-colisional: Nesse estágio diques de pegmatito se formam a partir dos fluidos finais do magmatismo ediacarano que preencheram fraturas extensionais geradas a partir das movimentações das zonas de cisalhamento Portalegre a Oeste e de alguma outra zona de cisalhamento a leste da área mapeada. As principais ocorrências relativas a este estágio evolutivo são os diques de pegmatito à amazonita. O estágio também é marcado pelo início da sedimentação.

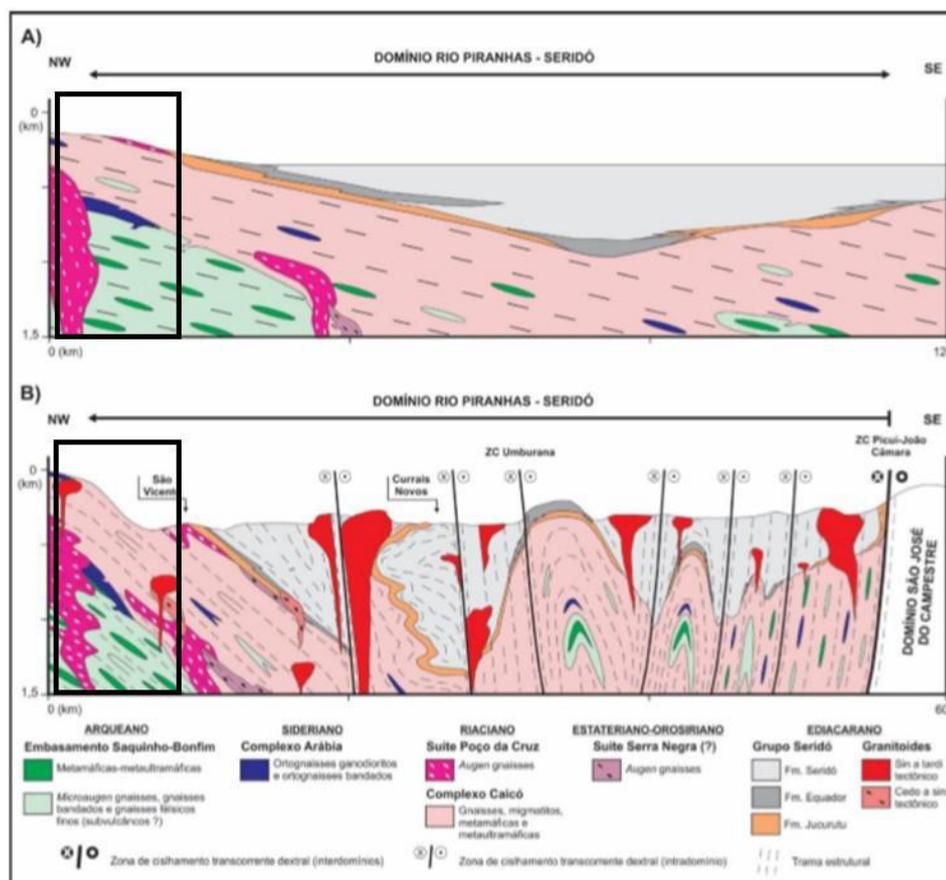


Figura 56 - Modelos geológicos de evolução da porção leste do Domínio Rio Piranhas-Seridó com destaque a porção referente a evolução que ocorre na área de mapeamento. A) situação pré-deformação e magmatismos brasileiros (ediacaranos); B) situação atual. ZC = zona de cisalhamento (modificado de Medeiros et al. 2013).

## 11. RECURSOS MINERAIS E ÁREAS POTENCIAIS

### 11.1 Pegmatitos à Amazonita

Amazonita é a variedade verde da microclina, mineral do grupo dos feldspatos. Em razão da cor verde viva este mineral pode ser utilizado como pedra preciosa, mas também na fabricação de vidro de louças e porcelanatos. Na área mapeada, diferentemente do usual, a amazonita é empregada para o setor de rochas ornamentais.

As jazidas de amazonita ocorrem em diferentes ambientes geológicos, mas as mais importantes ocorrem associadas à granitos e pegmatitos (Ostrooumov, 2012).

A amazonita é alvo de diversas pesquisas a respeito de sua coloração e respectivas variações, entretanto, a teoria mais aceita atualmente é a de que sua cor está relacionada à presença do elemento chumbo (Pb) no microclínio. Cristais de galena (PbS) podem ser visíveis em alguns corpos pegmatíticos, indicando a grande

quantidade de Pb nestes. Muito provavelmente o Pb necessário para a geração da amazonita é proveniente de rochas básicas, logo os anfibolitos e quartzo-sienitos da região podem ter fornecido o elemento químico.

Na área mapeada foram localizadas três ocorrências (Figura 35). A principal ocorrência se dá na porção central da área mapeada, enquanto as outras duas se encontram a norte e a sul.

A principal ocorrência de pegmatito à amazonita localiza-se na Mina *Amazon*, na porção centro-norte da área mapeada, onde é explorada pela empresa *Granistone* e comercializada principalmente como rocha ornamental na forma de blocos (Figura 57). Consiste em um dique tabular de extensão aproximada de 500m e espessura média de 2,5m. Tal ocorrência apresenta um mergulho de 45° para SW e encontra-se intrudindo quartzo-sienitos e por vezes lentes anfibolíticas. A sua grande extensão e espessura possibilitam seu uso para fins ornamentais, que com ajuda de maquinário, blocos da rocha pegmatítica são cortados, transportados e beneficiados até estarem prontos para a venda.

O corpo pegmatítico é bastante fraturado, fator este que somado a presença de zonas brancas ricas em plagioclásio granular geram um aproveitamento de apenas 10% do material lavrado, no entanto porções mais íntegras deste corpo possibilitam a extração de bons blocos e o preço alcançado para venda compensa o baixo aproveitamento.

Boa parte do que é extraído transforma-se em rejeito que por sua vez é reaproveitado e vendido com o nome de *gravel*, o qual pode ser utilizado como material gemológico ou artesanal. As duas outras ocorrências de pegmatito à amazonita, uma a norte e outra a sul da área mapeada, são de dimensões muito reduzidas, no entanto possuem potencial gemológico e devem ser investigadas de forma mais detalhada para se avaliar a possibilidade de se tratar de uma ocorrência de maior tamanho que viabilize a extração para fins ornamentais.

Supõe-se que estas mineralizações de amazonita estejam associadas a um magmatismo ocorrido em uma fase rúptil tardia (Dn+1'') que também deu origem a veios quartzosos e fraturas sem preenchimento.



**Figura 57** Bloco de Amazonita (nome comercial) da empresa Granistone S.A.

### **11.2 Turmalina (schorlita)**

A turmalina faz parte dos ciclossilicatos sendo utilizada principalmente em joalherias como gema preciosa, a turmalina também tem uso industrial na fabricação de manômetros e determinados tipos de microfones.

As turmalinas ocorrem associadas a granitos e pegmatitos ou a rochas metamórficas como xistos e mármore. Devido ao seu alto grau de dureza (7-7.5), a turmalina é um mineral resistente e também pode ser encontrada na forma de grãos em arenitos e conglomerados.

A variedade de turmalina encontrada na área mapeada é do tipo *schorlita*, a mais comum dentre as variedades de turmalina, e ocorre associada aos turmalina-clorita-gnaiss na porção sul da área (Figura 58). Os cristais variam de tamanho milimétrico à centimétrico. O afloramento também foi afetado pelo metamorfismo de transcorrência dextral ( $D_{n+1}$ ). Desta maneira, sugere-se que as turmalinas foram originadas por processos hidrotermais onde a zona de cisalhamento serviu como um canal para a entrada de fluidos ricos em boro e outros elementos que contribuem para a formação das turmalinas.

Duas foram as ocorrências dos litotipos que abrigam as *shorlitas*. Uma ocorrência encontra-se em uma cava de garimpo, onde a turmalina foi explorada há algumas décadas, mas que atualmente encontra-se desativada. A segunda ocorrência encontra-se sob uma casa abandonada, onde esta foi construída sobre um afloramento de turmalina-clorita-gnaiss e onde é possível se observar algumas amostras de *shorlitas* no terreno, indicando assim uma potencial área para garimpo do mineral.



**Figura 58 – Turmalina de variedade shorlita em turmalina-clorita-gnaiss.**

## 12. PROCESSOS DE EXTRAÇÃO E VENDA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

### 12.1 Atualização da Planta da Mina Amazon

A atualização da planta da mina é essencial para acompanhar o crescimento da mesma. A metodologia utilizada é simples. A coleta de dados das frentes de lavra se faz por meio de GPS, bússola e trena. Com o GPS se obtém um ponto de partida, no caso um vértice de uma das paredes da frente de lavra, com a bússola mede-se seu *trend* e com a trena se mede o tamanho das paredes da frente de lavra. Após essa etapa os dados obtidos foram transferidos para o *software* AutoCAD para confecção da planta (Figura 59).

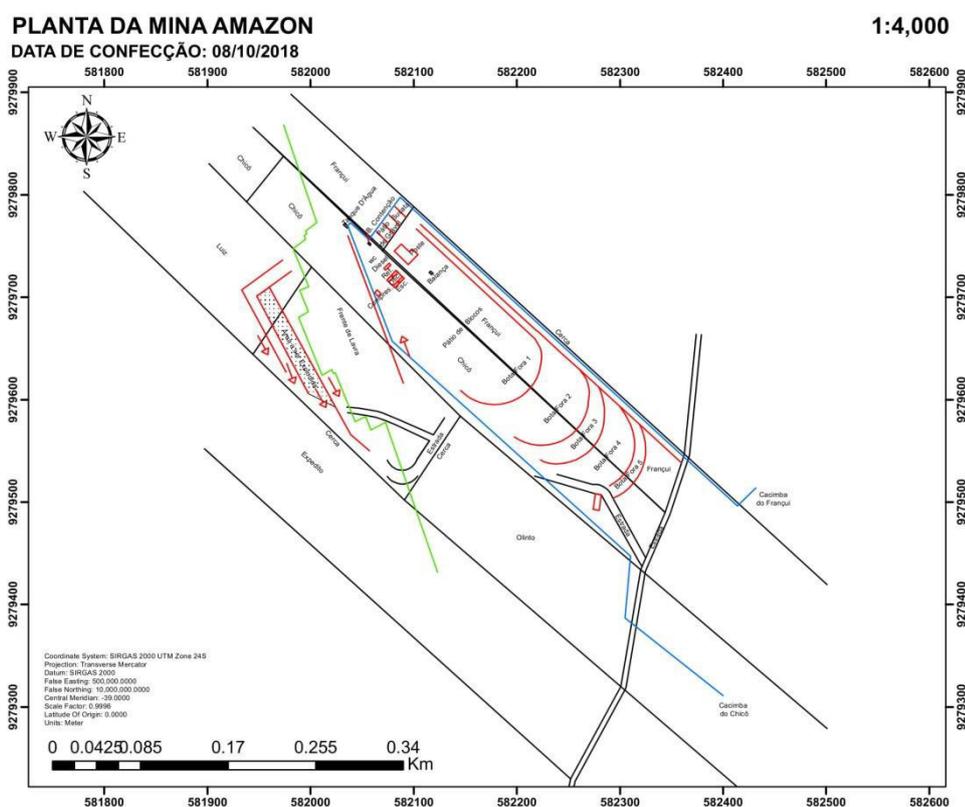


Figura 59 – Planta da mina atualizada a partir do software AutoCAD.

### 12.2 Tipo de Bancadas

O processo empregado é o de lavra a céu aberto (Figura 60 – Foto A) em forma de bancadas altas descendentes, com o desenvolvimento de rampas de acesso permitindo o trânsito de máquinas e caminhões. A evolução lateral das bancadas nas diferentes frentes de lavra obedecem a uma geometria em “L” acabando por formar volumes primários de rocha de formato de paralelepípedo, denominados de “quadrotos”, onde são lavrados em sequência de modo que cada um deles avance lateralmente em relação ao outro, caracterizando assim a

geometria em “L” (Figura 60 – Foto C). As bancadas apresentam em média altura de 2,5 metros coincidindo com a espessura do veio pegmatítico (Figura 60 – Foto B). Antes de se formarem as bancadas propriamente ditas onde são extraídos os blocos se faz necessária a abertura de um corte na frente de lavra para se obter superfícies livres e espaço para operar o fio diamantado, essa abertura é chamada de “gaveta” (Figura 60 – Foto D).



Figura 60 - a) Vista geral das bancadas da mina; b) Bancada com aproximadamente 2 metros; c) Geometria em “L” das bancadas; d) Gaveta.

### 12.3 Técnicas de Perfuração

Esta operação é realizada utilizando-se do equipamento de fundo-furo ou martelo-roto-pneumático (Figura 61 e Figura 62). O fundo-furo é uma perfuratriz de coluna movida através de um conjunto moto-redutor pneumático e ou hidráulico que utilizando um *bit's* de 4” ou 8<sup>1/2</sup>” (polegadas) de diâmetro possibilita a abertura de um furo na rocha de modo a permitir a passagem do fio diamantado. Para a realização do furo o bit de 1 m é acoplado a hastes de 1,5 m, estas são encaixadas uma a uma ao longo do processo de perfuração até que se chegue à profundidade desejada. O martelo-rotopneumático, também conhecido como martelete ou simplesmente martelo, consiste em uma perfuratriz que funciona a ar-comprimido a qual se acopla

hastes de 0,4m à 8,0m em que se encaixam *bit's* de diversas polegadas, estes possuem pérolas diamantadas que proporcionam o quebramento da rocha. Os movimentos verticais e rotacionais, juntamente com a força ( $\text{kgf/cm}^3$ ) dos equipamentos, permitem a perfuração da rocha.

O fundo-furo é utilizado para perfurações “horizontais” próximas a superfície topográfica ou “verticais”, esta última se faz necessária somente quando há um pacote significativo de rocha encaixante a ser perfurada, não havendo tal situação, de modo que a perfuração se faça diretamente na rocha a ser transformada em bloco, faz-se suficiente a utilização do martelete. O martelete também pode ser utilizado em posições horizontais desde que haja espaço para seu manuseio.

O processo de perfuração é bastante simples. Primeiramente os equipamentos devem ser alinhados com a utilização de níveis de bolha horizontais e verticais os quais devem estar basculhados. O furo “horizontal” deve estar alinhado ao ângulo de mergulho da rocha, no caso o dique pegmatítico. Após isso com a utilização de um equipamento a laser se define aonde será realizada a perfuração vertical. Definidos os locais de perfuração em seguida se inicia o processo de perfuração horizontal. Depois de realizado o furo horizontal se realiza o furo vertical até “varar”, ou seja, até que os dois furos se encontrem. Após “varar” os furos pode iniciar o processo de corte com o fio diamantado.

Apesar de simples o processo de perfuração pode apresentar alguns problemas, tais como o desencontro entre os dois furos ou perda de hastes dentro destes.



Figura 61 – a) Instalação do fundo-furo com ajuda da retroscavadeira; b e c) Fundo-furo perfurando as bancadas para posterior corte com fio diamantado.



Figura 62 – a) Perfuração de bancada utilizando martelo-rotopneumático na horizontal; b) Perfuração de bancada utilizando martelo-rotopneumático na vertical; c) Hastes utilizadas para perfuração com martelo-rotopneumático; d) Pó branco saindo da bancada indicando que a perfuração está no pegmatito à amazonita.

#### 12.4 Técnicas de Corte de Bancadas

O corte das bancadas realizados na Mina Amazon são com o emprego da tecnologia de fio-diamantado (Figura 63). O emprego de fio diamantado é o único método utilizável por garantir a integridade da rocha ao fim do corte, pois muitos são os fraturamentos presentes nela, os quais comportam-se como zonas de fraqueza

que ao longo do processo de corte com outras técnicas causariam o rompimento do bloco. Este fio é inserido na rocha através dos furos realizados na etapa anterior, de modo a abraçar a área a ser cortada, tracionado e tensionado por uma máquina elétrica de corte com fio diamantado (de 40 à 70cv. de potencia). Esta máquina possibilita a realização de cortes horizontais, verticais ou em qualquer ângulo, é uma operação limpa e silenciosa, não gerando poeira, gás ou qualquer outro agente prejudicial à saúde humana ou ao meio-ambiente. O fio diamantado é constituído por um cabo de aço galvanizado, que funciona como suporte para pérolas diamantadas, separadas ao longo do cabo por material plástico ou borracha. Normalmente o fio possui uma frequência de 39 a 41 pérolas/metro.

O corte com fio diamantado, seja para bancadas ou blocos, requer cuidados, pois o desprendimento de tais pérolas diamantadas ao longo do processo podem ser fatais se atingirem alguém, por isso se faz importantes alguns cuidados, tais como: A utilização de EPI's durante o trabalho; Ficar em uma posição segura ao observar o corte, ou seja, ao lado do operador da máquina e fora da direção de corte; Evitar passar pela frente do fio durante o processo de corte.



Figura 63 – A) Preparação de corte de bancadas com fio diamantado e auxílio de sistema de polias; B) Corte latitudinal em bancada utilizando fio diamantado; C) Corte longitudinal em bancada utilizando fio diamantado.

## 12.5 Abertura e Tombamento de Bancadas

Após a etapa de corte da bancada com uso do fio diamantado iniciasse a etapa de abertura e tombamento destas. Como o espaço entre o material a ser retirado e o que permanece *in situ* é de uma espessura de aproximadamente 1 cm,

impossibilitando a passagem de cabos de aço que são presos ao bloco para sua posterior retirada, é necessário que se realize a etapa de abertura desse espaço, essa abertura se faz por meio da utilização de guias (Figura 64 – Foto A) e de travessieiros infláveis chamadas *hidro bag* (Figura 64 – Foto B) e *air pillow* (Figura 64– Foto C). A guia consiste simplesmente em barras de ferro com pontas que se afinam em uma das extremidades, elas são colocadas entre o espaço de forma manual por meio de marretadas, tem o objetivo de abrir um pouco o espaço possibilitando a entrada do *hidro bag*. O *hidro bag* é um travessieiro de chapa de aço muito fina que é inserido no corte realizado pelo fio diamantado, em seguida o mesmo é inflado com água sob pressão para provocar o afastamento da bancada. Já o *air pillow* consiste em uma bolsa plástica muito resistente que é inflada com ar comprimido e provoca o mesmo efeito do *hidro bag*, no entanto, este proporciona uma abertura maior do que o primeiro. Normalmente no processo de abertura de bancada se utiliza primeiro o *hidro bag* e somente depois o *air pillow*, no entanto o uso alternado dos dois também pode ser utilizado com o fim de movimentar inicialmente a bancada de forma mais homogênea. O processo de abertura da bancada, após a utilização dos itens anteriores, pode ser auxiliado com o uso de retroescavadeira.

Após a etapa de abertura da bancada iniciasse a etapa de tombamento da mesma. O bloco é amarrado com cabos de aço nas quatro laterais e em seguida a carregadeira o levanta na amarra de aço, o transportando para o pátio de blocos (Figura 65). Esta etapa requer muito cuidado para que o bloco não caia se quebre.



Figura 64 – a) Posicionamento das guias na bancada para abertura de espaço na bancada; b) Hidro bag ; c) Air pillow.



Figura 65 – Tombamento do bloco. Os cabos de aço são presos ao redor do bloco e este é transportado até o pátio de blocos.

## 12.6 Corte de blocos

Uma vez que a bancada já se encontra tombada é transportada para o pátio de blocos onde se realiza a marcação com giz da mesma, definindo-se os lados onde será feito o corte (Figura 66). A marcação é feita em locais onde propiciem a forma final cúbica ou retangular do bloco, tentando descartar ao máximo porções que na chapa polida são entendidas como defeitos na rocha, tais como manchas brancas de plagioclásio e restos de coloração cinza da rocha encaixante. A marcação com giz na bancada também leva em consideração a existência de fraturas, pois pode ser preferível se aproveitar destas para se extrair dois ou mais blocos por exemplo. Após marcados os locais aonde serão cortados o corte se inicia também utilizando-se novamente o fio diamantado (Figura 67).



**Figura 66 – Desenho com giz de cera no bloco com auxílio de esquadro para definir locais aonde serão realizados os cortes finais.**



Figura 67 – Pátio de blocos e bloco sendo cortado com auxílio da máquina de fio diamantado.

### 12.7 Marcação de blocos

Marcação de blocos é a etapa ápice no processo de extração e venda de rochas ornamentais, é a escolha dos blocos que serão levados pelo comprador (Figura 68). Nessa etapa estão presentes tanto o comprador como o vendedor dos blocos. O vendedor tem uma lista com os possíveis blocos que o comprador irá “marcar” para comprar no pátio de blocos. Essa lista contém o código do bloco, suas medidas, sua tonelada e sua classificação. São três as classificações de blocos de Amazonita: *Premium*, *Special* e *Classic*. O bloco tipo *Premium* seria o bloco ideal, onde, há grande quantidade de amazonita, nenhuma fratura e nenhuma mancha branca de plagioclásio ou porções da rocha encaixante. O bloco tipo *Special* apresenta grande quantidade de amazonita, mas também apresentam manchas brancas de plagioclásio, podendo ou não apresentar fraturamento significativo. Os blocos tipo *Classic* apresentam significativa manchas brancas de plagioclásio e podem apresentar faturamento significativo ou não. Cada tipo de classificação tem um preço diferente por tonelada. Na etapa de marcação dos blocos podem ser definidos novos cortes nos blocos dependendo da negociação com o comprador. O marcador dos blocos observa os padrões estéticos da rocha, a porcentagem de amazonita, a quantidade de fraturas e o tamanho do bloco, onde a partir dessas observações tenta negociar a venda do bloco, se possível marcar um bloco, por exemplo, *special* como um *classic*, diminuindo assim o preço do mesmo.

Após concluída a etapa de marcação os blocos podem ser transportados em *containers* para os locais de beneficiamento primário. Se a quantidade de fraturas no bloco for significativa e gerar algum risco de rompimento do mesmo durante o transporte estes podem ser envelopados.



**Figura 68 – Etapa de marcação de blocos que serão selecionados pela empresa compradora.**

### **12.8 Envelopamento**

A Amazonita (nome comercial da rocha) é um material muito raro e muito frágil, alguns blocos podem conter trincas, fraturas e outros problemas estruturais. Com a evolução tecnológica, a indústria desenvolveu a técnica de envelopamento de blocos (Figura 69), capazes de garantir a integridade física e estrutural desses blocos para que sejam transportados em segurança até o cliente final onde serão beneficiados. O processo de envelopamento é bastante simples, primeiramente é feita uma pasta a partir da mistura de resina epoxídica, catalisador, pó de rocha e gesso. Essa pasta é aplicada nas partes do bloco onde apresentam problemas significativos de faturamento. Aplica-se então uma tela trançada de fibra de vidro em volta do bloco resinado a qual sobre ela se repete a aplicação da pasta. Após alguns minutos a pasta endurece e o bloco está pronto para ser transportado em segurança.



**Figura 69 – Processo de envelopamento de blocos onde é possível notar a pasta logo abaixo da tela trançada.**

### **12.9 Retirada e transporte de blocos**

Antes de se colocar os blocos no *container* é necessário saber as dimensões deste para que se escolha as posições as quais estarão dispostos os blocos, bem como quais blocos serão colocados sobre os outros. O transporte dos blocos para dentro do container é feito com auxílio da carregadeira. Dentro do container os blocos ainda tem que ser forrados com pedaços de madeira para que não se movimentem durante o transporte no caminhão evitando que possam vir a se romper (Figura 70). Após colocado o *container* no caminhão este se dirige aos portos onde serão embarcados (Figura 71).



Figura 70 – Blocos colocados organizadamente e devidamente calçados no container.



Figura 71 – Container sendo colocado no caminhão com auxílio da carregadeira. Após essa etapa o container é levado aos portos onde será embarcado até chegar no local de destino.

### 12.10 Transporte do rejeito

Como apenas aproximadamente 10% do que é extraído se transforma realmente em bloco, pois são excluídas as zonas das bancadas que são detentoras de grandes fraturas, manchas, variações de padrão, porosidade e outros aspectos indesejáveis, acaba-se por remover 90% do volume total extraído para o bota fora

(local apropriado para depositar o rejeito). Na mina atualmente existem 6 bota-foras para deposição do rejeito, sendo cada um paralelo a outro de forma que possibilite a organização do rejeito na mina. Esta operação é realizada utilizando-se pás-carregadeiras, escavadeiras e caminhões caçambas reforçadas.

### 12.11 Reaproveitamento do rejeito – pátio de *gravel*

A reutilização do rejeito de mina é um dos principais processos dentro da mineração, pois é uma forma de diminuir a acumulação deste e seus riscos, como também uma possibilidade de adquirir lucro extra além do obtido pela venda dos blocos de rocha. Nos bota foras da Mina Amazon são recolhidos pedaços de rocha, nomeados de *gravel* (Figura 72), que ainda sejam interessantes para a utilização em artesanatos. A empresa tem uma projeção de venda do rejeito destinado ao artesanato de aproximadamente 25 toneladas/mês, com valor de aproximadamente R\$ 4.000,00/tonelada.



Figura 72 – a) Pilhas de *gravel*; b) Detalhe do *gravel*.

### 13. CONCLUSÕES

As informações obtidas através das análises de campo e dos resultados, contribuem para uma melhor caracterização geológica da região e identificação de litologias que compõem as Suítes Itaporanga e Dona Inês bem como o Complexo Caicó.

Os produtos gerados a partir das análises e processamentos de imagens de satélite na etapa pré-campo possibilitaram a extração de informações importantes para a etapa de campo, tais como as lineações ineamentos NW-SE, foliações NE-SW, curvas de nível, possíveis contatos geológicos obtidos a partir do PDI de composição 5R4G3B e modelos digitais do terreno (MDT).

A área mapeada apresenta litotipos ígneos plutônicos (sienogranitos pórfiros, monzogranitos, monzonitos, quartzo-sienitos) aflorando predominantemente na sua porção Oeste, enquanto os litotipos metamórficos se distribuem pontualmente na porção Oeste (cálcio-silicáticas, cornubianitos, anfibolitos e turmalina-clorita-gnaiss) e majoritariamente na porção Leste (ortognaiss pórfiro, cataclasito e protomilonitos) (Figura 7). Diques de álcali-feldspato-granito estão alinhados segundo a foliação NE-SW e afloram principalmente na porção Leste. Os corpos pegmatíticos se encontram na porção Oeste, sendo o dique de pegmatito à amazonita encaixado no quartzo-sienito (Figura 7).

As estruturas presentes nos litotipos mapeados são controladas por dois eventos orogênicos que compreendem duas fases dúcteis e duas fases rúpteis. A primeira fase dúctil corresponde à orogênese transamazônica ( $D_n$ ) cujas evidências estão presentes em ortognaisses do Complexo Caicó e correspondem a dobras e bandamentos metamórficos. A segunda fase dúctil presente na área refere-se às transcorrências brasileiras ( $D_{n+1}'$ ) e suas características estão presentes em ortognaisses pórfiros, protomilonitos (monzogranito-pórfiro) e cataclasitos, gerando foliações de alto ângulo e lineações com *trend* NE-SW, além de cristais sigmoidais de feldspato potássico com cinemática dextral. A primeira fase rúptil corresponde a diques de álcali-feldspato granito ( $D_{n+1}''$ ) de direção NE-SW que aproveitam-se dos planos de foliação gerados na fase  $D_{n+1}'$ ; e a segunda fase rúptil corresponde a diques pegmatíticos de amazonita, fraturas e veios de *trend* NW-SE e falhas inversas dextrais ( $D_{n+1}'''$ ).

Supõe-se que estas mineralizações de amazonita estejam associadas a um magmatismo ocorrido em uma fase rúptil tardia ( $D_{n+1}$ ) que também deu origem a veios quartzosos e fraturas sem preenchimento.

A análise petrográfica foi essencial para a denominação correta dos tipos litotipos mapeados, detalhando as características visíveis apenas a partir das análises das sessões delgadas, tais como: porcentagens minerais, protólitos dos litotipos metamórficos, características do metamorfismo e magmatismo atuante.

Os protólitos das rochas metamórficas presentes na área são de seis tipos: i) Protólito subvulcânico; ii) Protólito ígneo vulcânico; iii) Protólitos ígneos plutônicos; iv) Protólitos pegmatíticos; v) Protólitos sedimentares; vi) Protólitos psamo-pelíticos.

O metamorfismo atuante foi de três tipos: i) Metamorfismo regional; ii) Metamorfismo dinâmico e iii) Metamorfismo de contato. O metamorfismo regional referente ao evento  $Mn'$  Transamazônico produziu os ortognaisses, anfibolitos e plagioclásio-anfibolitos, enquanto o metamorfismo dinâmico referente ao evento  $Mn + 1$  de idade Brasiliana produziu os cataclasitos e protomilonitos. Todos os protólitos destes litotipos sofreram metamorfismo de fácies anfibolito, exceto o ortogneisse pórfiro que atingiu fácies epidoto-anfibolito. O metamorfismo de contato se deu por meio do magmatismo ediacarano, representado pelos litotipos ígneos plutônicos da área, o qual deformou protólitos pegmatíticos, sedimentares e psamo-pelitos dando origem respectivamente a turmalina-clorita-gnaisses, cálcio-silicáticas e cornubianitos. O turmalina-clorita-gnaisse indica retrometamorfismo que atingiu fácies xisto-verde, as cálcio-silicáticas atingiram fácies epidoto-anfibolito e os cornubianitos fácies albita-hornfels.

Foi possível estabelecer quatro estágios de evolução geológica: i) Pré-colisional Transamazônico; ii) Colisional Transamazônico; iii) Colisional Brasiliano; iv) Pós-Colisional. O dique de pegmatito a amazonita se formou no estágio pós-colisional se utilizando dos fluidos finais do magmatismo ediacarano.

São duas as principais ocorrências de importância econômica presente na área: i) Turmalinas de tipo *shorlita* em turmalina-clorita-gnaisses e ii) Pegmatitos à Amazonita. As turmalinas se apresentam como potenciais matérias-primas para confecção de gemas. Dos pegmatitos mineralizados em amazonita apenas um apresenta potencial para extração de blocos de rocha ornamental, e este já o é

realizado pela empresa Granistone S.A. As demais ocorrências de pegmatito à amazonita são diminutas, no entanto devem ser mais estudadas.

Muito provavelmente o Pb necessário para a geração da amazonita é proveniente de rochas básicas, logo os anfibolitos e quartzo-sienitos da região podem ter fornecido o elemento químico.

Quanto aos processos de produção e venda utilizados na Mina Amazon é possível reconhecer que se trata de uma lavra incomum de rocha ornamental por se tratar da lavra de um dique de pegmatito, logo, tais processos não são os mesmos utilizados para granitos, quartzitos e mármore. As técnicas e tecnologias para extração e beneficiamento de blocos de rocha associadas ao fato de o corpo rochoso ter dimensões que possibilite o corte com fio diamantado em diferentes posições viabiliza sua exploração e venda. O outro ponto importante da geologia econômica é a utilização do rejeito da mina que é vendido, principalmente para fins artesanais, como *gravel* sendo uma importante alternativa para aumentar o lucro da empresa e diminuir as pilhas de rejeito.

#### 14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Províncias Estruturais Brasileiras, *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande, **Boletim de Resumos**, Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391.

ANGELIM, L. A. de A.; CAMOZZATO, E.; WANDERLEY, A. A. CPRM. Folha SB.25, Natal. *In*: Carta geológica do Brasil ao milionésimo: sistema de informações geográficas, Recife, 2004a. Escala, 1:1.000.000.

ANGELIM, L. A. de A.; CAMOZZATO, E.; WANDERLEY, A. A. CPRM. Folha SB.24, Jaguaribe. *In*: Carta geológica do Brasil ao milionésimo: sistema de informações geográficas, Recife, 2004b. Escala, 1:1.000.000.

BARROW, G. On the geology of Lower Dee-side and the southern Highland Border. **Geological Association of London Proceedings**, v. 23, p. 274–290. 1912.

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUSS, W. R. Tectonic history of the Borborema province. *In*: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A., CAMPOS, D. A. (Orgs.), **Tectonic Evolution of South America**, 31 International Geological Congress, Rio de Janeiro, p. 151-182.

CABY, R.; ARTHAUD, M. Major Precambrian Nappes of the Brazilian belt, Ceará, northeast Brazil. **Geology**, v. 14, p. 871-874. 1986.

DANTAS, E. L. **Evolução tectono-magmática do maciço polidiapírico São Vicente/Florânia, RN**. 1992. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1992.

FERREIRA, C. A. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Caicó. Folha SB.24-Z-B - Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte**. Brasília: CPRM, 1997. 152p. Escala 1:250.000.

FERREIRA V. P.; SIAL A. N.; JARDIM DE SÁ; E. F. Geochemical and isotopic signatures of Proterozoic granitoids in terranes of the Borborema structural province, northeastern Brazil. **Journal Of South American Earth Sciences**, v. 11, p. 439-455. 1998.

FERREIRA, C. A.; SILVA, S. M. P. D.; HORIKAWA, Y. **Projeto Cadastramento dos Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte**.

**Relatório Final.** Recife: Governo do Estado do Rio Grande do Norte/CPRM, 5 volumes. 1977.

FERREIRA, J. A. M.; ALBUQUERQUE, J. P. T. **Sinopse da geologia da Folha Seridó.** Recife: SUDENE. 52p. 1969.

GALINDO, A. C. **Estudo petrológico do corpo granítico de Monte das Gameleiras (RN-PB).** 1982. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1982.

GALINDO, A. C.; DALL'AGNOL, R.; McREATH, I.; LAFON, J. M.; TEIXEIRA, N. Evolution of Brasiliano-age granitoid types in a shear-zone environment, Umarizal-Caraúbas region, Rio Grande do Norte, Northeast Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, p. 79-95. 1995.

GALINDO, A. C. **Petrologia dos granitóides brasileiros da região de Caraúbas e Umarizal (oeste do Rio Grande do Norte).** 1993. Tese (Doutorado em Geologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1993.

GALINDO, A. C.; SOUZA, Z. S.; DANTAS, E. L. Geocronologia U-Pb de granitóides tipo Itaporanga (Monte das Gameleiras e Serrinha), Maciço São José de Campestre, NE do Brasil. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 21, 2005, Recife. **Resumos expandidos.** Recife: SBG. Núcleo Nordeste, 2005. p.150-152.

GONÇALEZ, M. G. B. **Geologia e petrologia da região de Serra Negra do Norte (RN-PB).** 1984. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Curso de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1984.

HACKSPACHER, P. C.; SILVA, C. A.; SANTOS, J. P. A geologia do complexo gnaiss migmatítico entre São Vicente e Florânia - RN; uma análise preliminar. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 12, 1986, João Pessoa. **Atas ...** João Pessoa: SBG. Núcleo Nordeste, 1986. p.252-269.

JARDIM DE SÁ, E. F. **A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana. Brasília.** 1994. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1994.

JARDIM DE SÁ, E. F.; LEGRAND, J. M.; SÁ, C. A. S.; LIRA, C. P.; NETO, F. M.; REGO, J. M.; SOUZA, L. C. Esboço da geologia precambriana do Extremo Oeste Potiguar. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 10., 1981, Recife. **Atas...** Recife: SBG. Núcleo Nordeste, 1981. p. 315-3287.

JARDIM DE SÁ, E. F.; Kawashita, K.; Macedo, M. D. Supracrustais monocíclicas no extremo oeste do Rio Grande do Norte. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 12, 1986, João Pessoa. **Atas ...** João Pessoa: SBG. Núcleo Nordeste, 1986. p.62-74.

JARDIM DE SÁ, E. F.; FUCK R. A.; MACEDO M. H. F.; PEUCAT J. J.; KAWASHITAS, K.; SOUZA, Z. S.; BERTRANDT, J. M. Pre-brasiliano orogenic evolution in the Seridó Belt, NE Brazil: conflicting geochronological and structural data. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 4, p. 307-314. 1995.

LEGRAND, J. M.; DANTAS, E. L.; LIEGEOIS, J. P. Definição e caracterização do embasamento da porção Oeste da Faixa Seridó (Província Borborema, NE-Brasil). *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 17., 1997, Fortaleza. **Resumos expandidos**. Fortaleza: SBG. Núcleo Nordeste, 1997. p. 50-55.

LEGRAND, J. M.; LIEGEOIS, J. P.; DEUTSCH, S. Datação U/Pb e Rb/Sr das rochas precambrianas da região de Caicó. Reavaliação da definição de um embasamento arqueano. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 14, 1991, Recife. **Atas...** Recife: SBG. Núcleo Nordeste, 1991. p.276-279.

MACEDO, M. D. F.; JARDIM DE SÁ, E. F.; PEUCAT, J. J.; SOUZA, Z. S.; MARTIN, H. Avaliação dos dados geocronológicos do Complexo Caicó (RN) e suas implicações tectônicas. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 14., 1991, Recife. **Atas...** Recife: SBG. Núcleo Nordeste, 1991. p. 256-259.

MACEDO, M. H. F.; JARDIM DE SÁ; E. F.; SÁ, J. M. Datações Rb-Sr em ortognaisses e a idade do Grupo Seridó. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 11., 1984, Natal. **Atas...** Natal: SBG. Núcleo Nordeste, 1984. p. 253-262.

MAGINI, C. **Evolução pré-cambriana da Província Borborema: o extremo oeste potiguar**. 2001. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2001.

McMURRY, J.; LONG, L. E.; SIAL, A. N. Petrology and isotope systematics of magma mushes: some porphyritic granitoids of northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 473-480. 1987a.

McMURRY, J.; LONG, L. E.; SIAL, A. N. Evolution of a heterogeneous, continentally derived granite: Dona Inês pluton, northeastern Brazil. **Journal of Geology**, v. 95, p.107-117, 1987b.

McMURRY, J.; LONG, L. E.; SIAL, A. N. Two-stage evolution of a texturally homogeneous granite: REE and isotopic evidence from the Dona Inês pluton, Northeast Brazil. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 1., 1987, Salvador. **Extended abstracts**. Salvador: Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, 1987c. p.173-176.

MEDEIROS, V. C.; CAVALCANTE, R.; CUNHA, A. L. C.; DANTAS, A. R.; COSTA, A. P.; BRITO, A. A.; RODRIGUES, J. B.; SILVA, M. A. O furo estratigráfico de Riacho Fechado (Currais Novos/RN), Domínio Rio Piranhas-Seridó (Província Borborema, NE Brasil): procedimentos e resultados. **Estudos Geológicos**, vol. 27, n. 3, p. 3-44. 2017.

MEDEIROS, V. C.; GALINDO, A. C.; NASCIMENTO, M. A. L. Litogeoquímica do Batólito de Catolé do Rocha (RN-PB), porção W do Domínio Rio Grande do Norte da Província Borborema. **Estudos Geológicos**, v. 18, p. 26-44. 2008a.

MEDEIROS, V. C.; et al. (Org.). Geologia e recursos minerais da Folha Souza SB 24-X.A. Escala, 1:250.000: Estudo da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Recife: CPRM, 2008b.

MEINHOLD, G. Rutile and its applications in earth sciences. **Earth-Science Reviews**, v. 102, n. 1-2, p. 1-28. 2010.

MEUNIER, A. R. Succession stratigraphique et passages lateraux dus au metamorphisme dans la Série Ceará, Antecambrien du Nord-Est brésilien. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 259, p. 3796-3799. 1964.

NASCIMENTO, M. A. L.; ANTUNES, A. F.; GALINDO, A. C.; JARDIM DE SÁ, E. F.; SOUZA, Z. S. Geochemical signature of the Brasiliano-age plutonism in the Seridó Belt, northeastern Borborema Province (NE Brazil). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 1, p. 161-164. 2000.

OSTROUMOV, M. Algunas consideraciones mineralógicas y geoquímicas sobre el hallazgo de amazonita en el estado de Chihuahua, México. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**, v. 29, n. 1, p. 212-232. 2012.

PASCHIER, C. W.; TROUW, R. A. J. **Microtectonics**: Springer, 289 p. 1994.

SANTOS, E. J.; SOUZA NETO, J. A.; SILVA, M. R. R.; BEURLIN, H.; CAVALCANTI, J. A. D.; SILVA, M. G.; DIAS, V. M.; COSTA, A. F.; SANTOS, L. C. M. L.; SANTOS, R. B. Metalogênese das porções norte e central da Província

Borborema. *In*: SILVA, M. G.; NETO, M. B. R.; JOST, H.; KUYUMJIAN, R. M. (Eds.), **Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras**. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Belo Horizonte, p. 343–388. 2014.

SIAL, A. N. Granite-types in Northeastern Brazil: Current knowledge. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 52-72. 1986.

SOUZA, Z. S.; MARTIN, H.; PEUCAT, J. J.; JARDIM DE SÁ, E. F.; MACEDO, M. H. F. Calc-alkaline magmatism at the archean-proterozoic transition: the Caicó Complex basement (NE Brasil). **Journal of Petrology**, v. 48, n. 11, p. 2149-2185. 2007.

TRINDADE, R. I. F.; DANTAS, E. L.; BABINSKI, M.; VAN SCHMUS, W. R. Short-lived granitic magmatism along shear zones: evidence from U–Pb zircon and sphene ages of Carnaúbas and Tourão granites. *In*: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 2., 1999, Córdoba. **Actas**, Córdoba. p. 143-144.

VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; HACKSPACHER, P.; BABINSKI, M. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, northeastern Brazil: initial conclusions. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, p. 267-288. 1995.

VAUCHEZ, A.; NEVES, S.; CABY, R.; CORSINI, M.; EGYDIO-SILVA, M.; ARTHAUD, M.; AMARO, V. The Borborema shear zone system, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, n. 3-4, p. 247-266. 1995.

YARDLEY, B. W. D. 2004. Introdução à petrologia metamórfica. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 2004. 432p.

NELSON, S. A. Types of Metamorphic Reactions, 2011. Disponível em: <<http://www.tulane.edu/~sanelson/eens212/metamorphreact.htm>>. Acesso em: 24 out. 2018.