



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

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO E ANÁLISE ESTRUTURAL DE UMA ÁREA  
DE EXTRAÇÃO DE ROCHA ORNAMENTAL A NOROESTE DO MUNICÍPIO  
DE BANABUIÚ-CE**

ALLISON DE OLIVEIRA MAIA

FORTALEZA  
2015

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

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO E ANÁLISE ESTRUTURAL DE UMA ÁREA  
DE EXTRAÇÃO DE ROCHA ORNAMENTAL A NOROESTE DO MUNICÍPIO  
DE BANABUIÚ-CE**

ALLISON DE OLIVEIRA MAIA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em geologia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do título de geólogo.

Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto

FORTALEZA  
2015

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)

---

M184m Maia, Allison de Oliveira.  
Mapeamento geológico e análise estrutural de uma área de extração de rocha ornamental a Noroeste do Município de Banabuiú-Ce / Allison de Oliveira Maia. – 2015.  
77 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Geologia, Fortaleza, 2015.

Orientação: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto.

1. Análise Estrutural . 2. Banabuiú (Ceará). 3. Técnicas de Lavra. 4. Rocha Ornamental. 5. Geologia. I. Título.

CDD 551

---

ALLISON DE OLIVEIRA MAIA

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO E ANÁLISE ESTRUTURAL DE UMA ÁREA  
DE EXTRAÇÃO DE ROCHA ORNAMENTAL A NOROESTE DO MUNICÍPIO  
DE BANABUIÚ-CE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em geologia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do título de geólogo.

Aprovada em 23/03/2015.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto (Orientador)

Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof. Dra. Tereza Falcão de Oliveira Neri (Membro)

Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Dra. Martha Noélia Lima

Geóloga

Agradeço a Deus, aos meus pais, à minha esposa, ao meu orientador e a todos os meus amigos e companheiros que fizeram parte desta longa jornada!

*Não vos inquieteis, pois, pelo dia de amanhã, porque o dia de amanhã cuidará de si mesmo. Basta a cada dia o seu mal.*

*Mateus 6:34*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido toda a força, coragem, inteligência, sabedoria, paciência e determinação que foram necessárias para a confecção deste trabalho.

À Universidade Federal do Ceará, na figura do nosso magnífico reitor Prof. Dr. Jesualdo Pereira, por contribuir de forma determinante na minha vida acadêmica através da estruturação da UFC como uma instituição de referência no ensino de nível superior.

À DotLib pela concessão de bolsa de iniciação científica durante os últimos dois anos.

Às pessoas mais importantes da minha vida: meus pais (Nileide e Célio), que sempre fizeram o seu melhor para que nunca me faltasse nada, e que tornaram possível a realização deste trabalho. Pai, por acreditar em mim e nos meus sonhos, e mãe, por sempre me apoiar e me aconselhar nas minhas decisões, o meu muito obrigado! Este trabalho só foi possível devido ao esforço ininterrupto de vocês!

Também gostaria de agradecer à Dona Clara e ao Sr. João, que mesmo sendo os pais da minha esposa, me trataram sempre como um de seus filhos, fazendo tudo que estava ao seu alcance para me ajudar no que fosse necessário. Este trabalho eu também dedico a vocês!

Ao Dr. Francisco Wilson Holanda Vidal e ao Sr. Fernando, que forneceram todo o seu apoio operacional e logístico para tornar este trabalho possível.

À minha linda esposa Aline, que está comigo desde o começo da minha jornada geológica... Não consigo achar palavras que mensurem como você me apoiou, meu amor! Sempre me incentivando, me apoiando para que eu não fraquejasse perante as adversidades e nunca desistisse diante dos obstáculos. Você foi, e continua sendo, necessária na minha vida, tanto pessoal quanto acadêmica, para que eu sempre siga em frente e de cabeça erguida. Muito obrigado por fazer parte da minha vida, neném!

Aos professores e funcionários do Departamento de Geologia, que tanto dentro como fora da sala de aula, foram não somente professores, mas verdadeiros companheiros e amigos, sempre fornecendo de forma prestativa o seu apoio tanto acadêmico como motivacional. Deixo aqui meus sinceros agradecimentos a todos vocês, e principalmente, ao Prof. "Zeca", que mesmo diante de tantas responsabilidades e atribuições, ainda encontrava tempo para me guiar e me orientar neste trabalho. Também gostaria de deixar meus agradecimentos à "Tia Márcia" com o seu "restinho de café" das 16:30 (em ponto), ao Leal e a "Tia Verônica" pela sempre necessária ajuda na secretaria do Departamento de Geologia, e ao Valmi, pela amizade e disposição para resolver os problemas que apareciam.

A todos os meus companheiros da nossa querida sala do Prof. Zeca: Agnaldo, Diones, Joel, Ricardo, Cecílio, Kézia, Wollker, Martha, Daniel, Igor "Chico", Glória,

Joni (P2), Fábio (P3), e a todos os outros que fazem, ou fizeram, parte desse maravilhoso grupo e que de uma forma ou de outra me ajudaram e me apoiaram durante a minha jornada e na confecção deste trabalho. Obrigado por tudo pessoal!

A todos os meus colegas de sala de aula, que também fizeram parte da minha trajetória, também gostaria de deixar os meus sinceros agradecimentos, pois seja em sala de aula ou nas aulas de campo, vocês estavam me ajudando das mais variadas formas. Gostaria de desejar agradecimentos especiais ao Jesus (que de santo só tem o nome...), Maria Clara (por comprar “dindim” pra gente estudar na sua casa), Agnaldo (pelos seus mapas... e pela sua amizade também), ao Marcelo (pela amizade desde praticamente metade do curso) e a todos os outros companheiros de sala que em um futuro não muito distante serão companheiros de profissão. A todos o meu muito obrigado!

Também gostaria de deixar meus agradecimentos aos meus amigos de fora da UFC, que mesmo sem contribuir diretamente neste trabalho, participaram de momentos que me permitiam relaxar e esquecer um pouco dos problemas que sempre se apresentavam na minha vida acadêmica. Gostaria de prestar agradecimentos especiais aos meus amigos Tiago e Natália. Vocês também fazem parte deste trabalho, pessoal! Obrigado pela amizade de vocês!

E à todos aqueles que não foram citados aqui, mas que de uma forma ou de outra me ajudaram em algum momento da minha vida, peço desculpas pela ausência aqui e reforço meus agradecimentos.

Finalmente, obrigado à todos vocês!

## RESUMO

A área de estudo está localizada geologicamente no Domínio Ceará Central (situado na Província Borborema) a noroeste do município de Banabuiú, o qual encontra-se situado no sertão central do estado do Ceará. O estudo foi realizado numa área de 12 Km<sup>2</sup> numa escala de 1:15.000, abrangendo uma área de extração de blocos de rocha ornamental localizada na “Serra do Feijão”. A região é representada litologicamente por rochas de idades Paleoproterozóica (embasamento gnáissico-migmatítico), Neoproterozóica (granitos do tipo S), Fanerozóica (veios pegmatíticos do Paleozóico, e pelas coberturas colúvio-aluvionares do Cenozóico). Do ponto de vista petrográfico, O granito é classificado como monzogranito, enquanto o embasamento foi denominado como migmatito. Do ponto de vista estrutural, as diáclases regionais apresentam uma tendência principal para ENE-OSO, enquanto as diáclases presentes na região de extração de blocos apresentam-se orientadas nos sentidos NE-SO e NO-SE. Quanto aos aspectos econômicos, sugere-se que se faça a retirada de blocos usando bancadas baixas, cuja altura corresponda à altura do bloco e que os cortes de blocos de rocha sejam realizados somente com fio diamantado, visando baixa geração de rejeito, além de ser uma ferramenta com um bom custo/benefício.

Palavras-chave: Análise Estrutural, Banabuiú, Técnicas de Lavra, Rocha Ornamental

## ABSTRACT

The study area is located geologically in Ceará Central Domain (located in the Borborema Province) northwest of the city of Banabuiú, which is situated in the state of Ceará. The study was conducted in an area of 12 Km<sup>2</sup> on a scale of 1: 15,000, comprising an extraction area ornamental stone blocks located in the "Serra do Feijão". The region is represented by rocks of Paleoproterozoic lithologically ages (gneissic-migmatitic basement), Neoproterozoic (type-S granites), Phanerozoic (Paleozoic pegmatitic veins, and the colluvial-alluvial Cenozoic sediments). The petrographic analysis shows that the granite is classified as monzogranite, while the basement has been defined as migmatite. The structural analysis shows that the primary regional joints have a tendency to ENE-WSW, while joints present in the extraction region of dimension stones is present in the oriented as NE-SW and NW-SE. Regarding the economic aspect, it is suggested to make the withdrawal of blocks using low tops, whose height corresponds to the height of the block and the blocks of rock cuttings are carried out only with diamond wire, aimed at low waste generation, and is a tool with a good benefit-cost ratio.

Key words: Structural Analysis, Banabuiú, Mining Techniques, Dimension Stone

## LISTA DE ABREVIACES MINERAIS (SIIVOLA & SCHMID, 2007)

**Bt:** Biotita

**Chl:** Clorita

**Grt:** Granada

**KF:** Feldspato Potssico (K-Feldspato)

**Ms:** Muscovita

**Op:** Opacos

**Pl:** Plagioclásio

**Qtz:** Quartzo

**Sil:** Silimanita

**Zrn:** Zircão

## SUMÁRIO

### CAP. 1 - INTRODUÇÃO

1.1.INTRODUÇÃO .....	21
1.2.OBJETIVOS .....	21
1.3.LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO .....	21
1.4.METODOLOGIA	
1.4.1.ETAPA PRÉ-CAMPO.....	22
1.4.2.ETAPA DE CAMPO .....	23
1.4.3.ETAPA PÓS-CAMPO.....	23

### CAP. 2 - SÍNTESE DA GEOLOGIA REGIONAL

2.1.PROVÍNCIA BORBOREMA .....	25
2.2.DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL (DCC).....	26
2.2.1.ARQUEANO .....	27
2.2.2. PALEOPROTEROZÓICO .....	27
2.2.2.1.TERRENOS TTG .....	28
2.2.2.2.TERRENOS GNÁISSICO-MIGMATÍTICOS.....	28
2.2.3.MESO-NEOPROTEROZÓICO .....	28
2.2.4.GRANITÓIDES BRASILIANOS .....	29
2.2.5.PALEOZÓICO	
2.2.5.1.PEGMATITOS .....	30
2.2.6.CENOZÓICO .....	30

## CAP. 3 - GEOLOGIA LOCAL

3.1.LITOESTRATIGRAFIA E DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES NA ÁREA MAPEADA.....	32
3.2.EMBASAMENTO GNÁISSICO-MIGMATÍTICO (COMPLEXO ACOPIARA) (Ppa) .....	32
3.3.GRANITO BANABUIÚ (NP3γ2i).....	33
3.4.PEGMATITOS (ε0g).....	35
3.5.COBERTURAS COLÚVIO-ALUVIONARES (Q).....	36

## CAP. 4 - ANÁLISE PETROGRÁFICA

4.1.INTRODUÇÃO .....	39
4.2.CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (GRANITO BANABUIÚ).....	39
4.3. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DO EMBASAMENTO GNÁISSICO-MIGMATÍTICO .....	43
4.4. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS ROCHAS NA REGIÃO DO CONTATO .....	44

## CAP. 5 - ANÁLISE ESTRUTURAL

5.1.INTRODUÇÃO .....	50
5.2.RESULTADOS .....	53
5.2.1. ETAPA DE MEDIDAS DA ÁREA DE ESTUDO .....	54
5.2.2. ETAPA DA FRENTE DE LAVRA.....	56
5.2.3.ETAPA DE ESTUDO DAS DIÁCLASES .....	58

## CAP. 6 - GEOLOGIA ECONÔMICA

6.1. GRANITOS .....	63
---------------------	----

6.2. PEGMATITOS .....	64
6.3. ROCHAS ORNAMENTAIS .....	65
6.3.1.ROCHAS ORNAMENTAIS NO CEARÁ .....	66
6.3.2.MERCADO.....	67
6.4. LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM MACIÇOS COMPACTOS .	69
6.5. TÉCNICAS DE CORTE.....	71
6.5.1.TECNOLOGIAS DE CORTE CÍCLICO .....	72
6.5.2.TECNOLOGIAS DE CORTE CONTÍNUO .....	72
6.6. RECOMENDAÇÕES.....	73
CAP. 7 - CONCLUSÕES.....	75
CAP. 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
ANEXO I: MAPA DE PONTOS	
ANEXO II: MAPA GEOLÓGICO	
ANEXO III: DADOS DE CAMPO	

# CAPÍTULO I

## **1.1 INTRODUÇÃO**

O presente trabalho visa cumprir as normas da Universidade Federal do Ceará junto ao Curso de Graduação em Geologia do Departamento de Geologia, no qual se faz necessário finalizar a disciplina Relatório de Graduação para conclusão do referido curso e obtenção do título de Geólogo.

Este relatório traduz os resultados obtidos no levantamento geológico de uma área situada a noroeste do município de Banabuiú, na porção centro-leste do Estado do Ceará, no qual foram estudados os litotipos aflorantes da região, além de aferidas diversas medidas de estruturas geológicas.

Os resultados dos estudos regionais e locais envolvendo as rochas graníticas e migmatíticas, inseridas no Domínio Ceará Central da Província Borborema, possibilitaram agregar conhecimento aos estudos já existentes na região, resultando no estabelecimento de características petrográficas e estruturais que possibilitam a otimização das atividades relacionadas à exploração de rochas ornamentais na região.

A análise estrutural de maciços rochosos constitui-se como uma importante ferramenta no planejamento de lavra em rochas ornamentais. Além dos mapeamentos litológicos e estruturais, é importante definir como as diáclases estão distribuídas dentro do maciço rochoso. Nesse relatório, apresenta-se a análise estrutural do Granito Banabuiú (nome comercial), cuja exploração já se realiza há alguns anos, mas visando um melhor aproveitamento para rocha ornamental, no sentido de diminuir a quantidade de rejeito gerado através da atividade de lavra.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho constou da realização de mapeamento geológico em escala de 1:15.000 de uma área com 12 Km<sup>2</sup> de extensão, situada no município de Banabuiú/CE. Os objetivos específicos correspondem a:

- Estabelecer relações entre os litotipos presentes na região, suas características mineralógicas e petrográficas;
- Caracterizar as distintas unidades litoestratigráficas e suas relações de contatos;
- Reconhecer as principais feições tectônicas e estruturais em caráter regional e local;
- Estabelecer uma proposta metodológica de plano de lavra baseada nos dados coletados em campo, e que visem a diminuição da produção de rejeito gerado pela extração de blocos de rocha.

## **1.3 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO**

A área de pesquisa encontra-se no município de Banabuiú, localizando-se na macrorregião do Sertão Central do Estado do Ceará, e distando 221 Km a sul da cidade de Fortaleza, capital do estado.

O acesso à região pode ser efetuado através da BR-116, seguindo até o “Triângulo de Quixadá” (encontro das BR-116 e BR-122), a partir do qual se segue na CE-013, até a cidade de Quixadá, toma-se a rodovia CE-021 até a altura do quilômetro 11 onde se encontra o entroncamento com a CE-113, que dá acesso à cidade de Banabuiú. A área específica de estudo encontra-se a aproximadamente 5 Km a noroeste do município, nos arredores da Serra do Feijão.

O mapeamento da área teve como base a folha da SUDENE de Banabuiú (SB-24-X-C-I), cujos vértices da área em apreço possuem as seguintes coordenadas (Tabela 1.1):

Tabela 1.1: Coordenadas dos vértices que delimitam a área de estudo

Vértice	Coordenada X (UTM)	Coordenada Y (UTM)
1	501000 m E	9418000 m N
2	505000 m E	9418000 m N
3	505000 m E	9415000 m N
4	501000 m E	9415000 m N

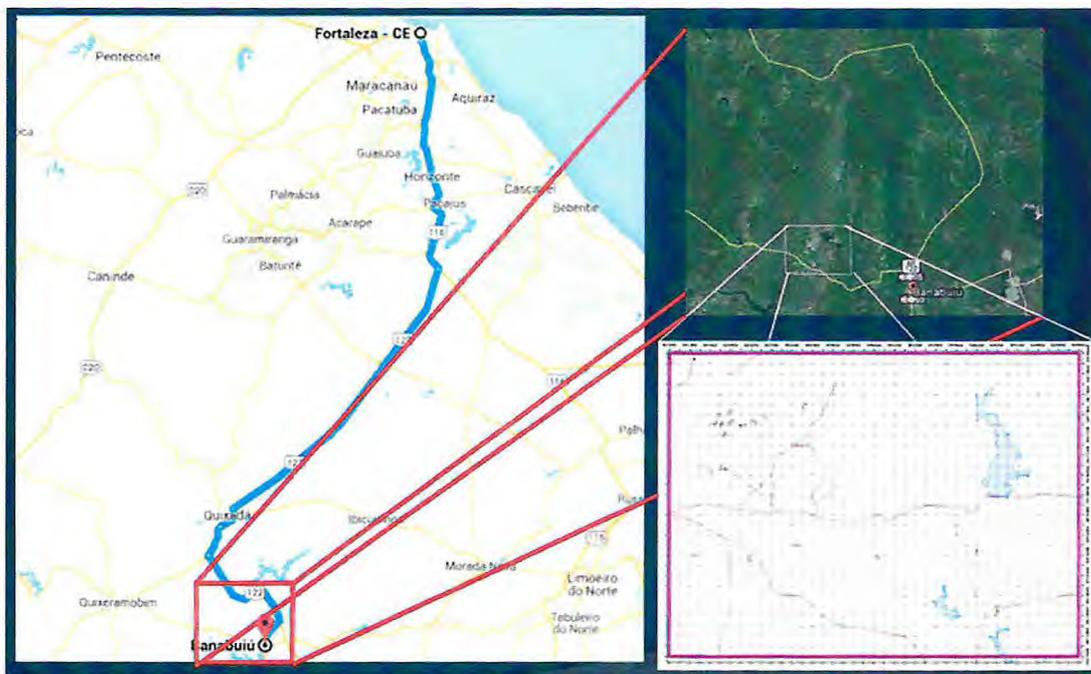


Figura 1.1 – Mapa de localização e vias de acesso da área pesquisada.

## 1.4 METODOLOGIA

A metodologia seguida, quando da elaboração deste trabalho, obedeceu a 3 etapas, as quais se desenvolveram segundo a sequência:

### 1.4.1 ETAPA PRÉ-CAMPO

Nesta fase de trabalho ocorreram pesquisas bibliográficas sobre a área selecionada e o tema abordado. Foram utilizados para consulta artigos em periódicos

diversos, teses de doutorado, dissertações de mestrado e monografias de graduação desenvolvidas na região.

Como base cartográfica, conforme salientado anteriormente, foram utilizadas as cartas topográficas da SUDENE (Folha SB-24-X-C-I) e EMBRAPA, além de mapas geológicos de estudos prévios da área. A compilação destes dados permitiu, através do software ArcGIS 9.3, confeccionar o mapa base da área na escala de 1:15.000, contando também com o auxílio da interpretação de fotografias aéreas (cedidas pela CPRM). A partir de imagens SRTM e LANDSAT 5 e 7, com a ajuda do software ENVI 4.8, foram confeccionados modelos digitais e composições RGB do local de estudo, visando encontrar possíveis anomalias e estruturas a serem analisadas na etapa de campo.

#### **1.4.2 ETAPA DE CAMPO**

Através do levantamento em afloramentos, procedeu-se com as análises em perfis perpendiculares a possíveis contatos e estruturas geológicas observadas na etapa pré-campo (lineamentos, diques, dobramentos e estruturas diversas entre as litologias existentes na região e sua mineralogia).

Foram descritas as características macroscópicas das rochas, na tentativa de individualizar suas relações de contato, mineralogia, texturas e estruturas. A atividade teve a duração de 15 dias, onde foram coletadas 06 amostras para análises petrográficas.

#### **1.4.3 ETAPA PÓS-CAMPO**

A partir da preparação das amostras coletadas em campo, foram confeccionadas seções delgadas pelo Laboratório de Laminação da Universidade Estadual de São Paulo – Campus Rio Claro (UNESP – Rio Claro). Os estudos petrográficos foram realizados em detalhe em 06 seções delgadas, com o auxílio dos microscópios petrográficos do Laboratório de Microscopia do DEGEO-UFC. Também foi utilizado o *software* OpenStereo para análise estatística das medições de foliações, fraturas e lineações que foram efetuadas em campo, de onde procurou-se obter um padrão de distribuição dos dados obtidos, avaliando-se as suas respectivas variações.

A integração das informações cartográficas, petrográficas, estruturais e de relações litoestratigráficas obtidas em campo e laboratório, permitiram a confecção de um mapa de pontos (Anexo 1) e um mapa geológico (Anexo 2), cuja interpretação do mesmo e do conjunto de resultados obtidos foi organizada sob a forma da monografia ora apresentada.

## CAPÍTULO II

## 2. SÍNTESE DA GEOLOGIA REGIONAL

Neste capítulo avaliou-se o quadro geológico regional, considerando aspectos litoestratigráficos, estruturais, geocronológicos, metamórficos e a evolução geológica da região.

### 2.1. PROVÍNCIA BORBOREMA

A Província Borborema (PB) (Figura 2.1) é composta por rochas de idade que variam do Arqueano ao Neoproterozóico, cuja estruturação atual foi desenvolvida no final do Neoproterozóico (ca. 600Ma), durante a orogenia Pan-africano/Brasiliana, marcada por intenso magmatismo granítico e pela formação de extensas zonas de cisalhamento transcorrentes. Dentre as diversas zonas de cisalhamento, as mais expressivas correspondem a de Sobral-Pedro II, Senador Pompeu, Patos e Pernambuco, as quais representam limites entre distintos domínios tectônicos existentes na Província Borborema (Almeida *et al.*, 1977; Arthaud *et al.*, 1998).

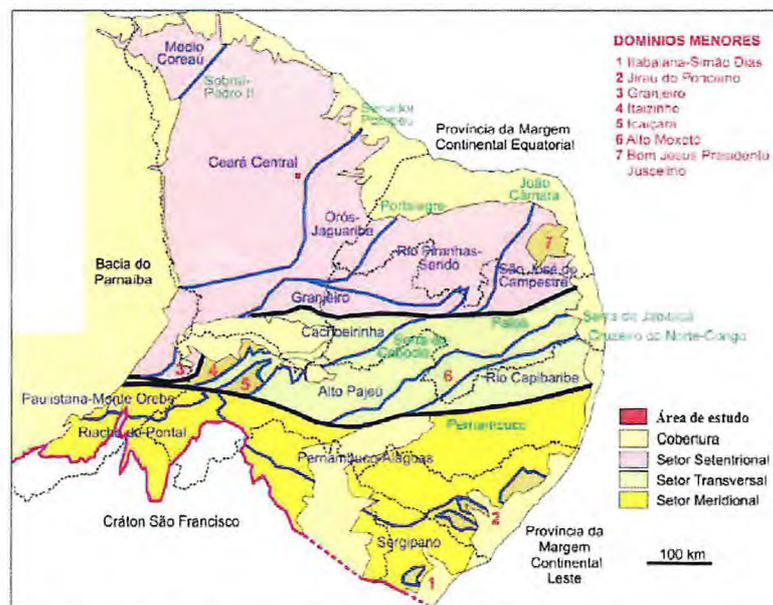


Figura 2.1 – Sistema Orogênico Borborema, evidenciando as ZC Pernambuco e Patos (traços maiores em preto), separando os três setores (setentrional, transversal e meridional). Os traços menores (em azul) separam os domínios. Os nomes dos domínios estão indicados em azul e vermelho; as designações das zonas de cisalhamento, em verde. (Modif. de Delgado *et al.* 2003 e Silva 2006).

Segundo Arthaud *et al.* (1998), de oeste para leste, a subprovíncia Setentrional da Província Borborema, mais precisamente no Estado do Ceará, pode ser sub-dividida nos seguintes Domínios: i – Médio Coreau (DMC – entre a Zona de Cisalhamento Sobral Pedro II e o cráton São Luis-Oeste Africano), ii – Ceará Central (DCC – entre as Zonas de Cisalhamento Sobral-Pedro II e Senador Pompeu); iii – Domínio Orós Jaguaribe (DOJ – entre as Zonas de Cisalhamento Orós e Farias Brito); além dos Domínios iv – Granjeiro e v – Piancó-Alto Brígida (DPAB – estes separados pelo Lineamento Patos)(Figura 2.2).

A área de investigação está contida no Domínio Ceará Central, e por esse motivo, será o único domínio geológico comentado.

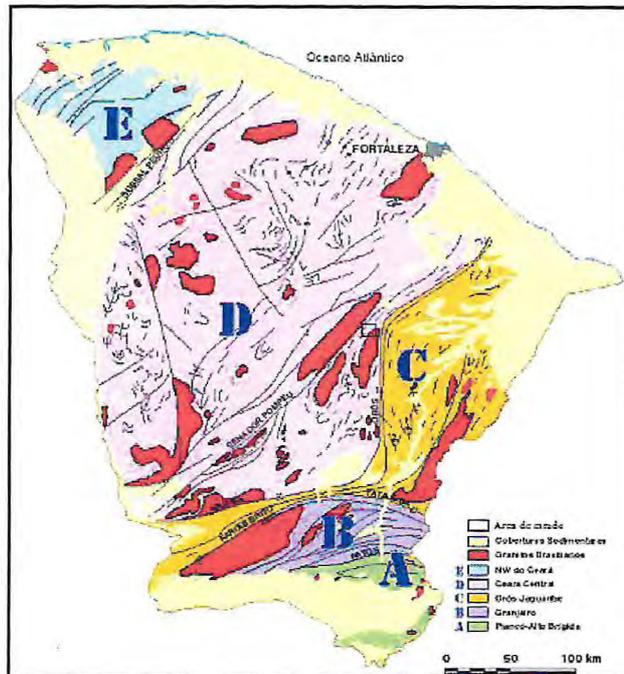


Figura 2.2: Principais Domínios Geotectônicos e distribuição dos granitoides brasileiros do estado do Ceará, de *Arthaud et al. (2005)*.

## 2.2. DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL (DCC)

O Domínio Ceará Central é a unidade geotectônica mais extensa da porção setentrional da Província Borborema e abrange quase a totalidade do estado do Ceará. É limitado a noroeste pela zona de cisalhamento Sobral-Pedro II, que corresponde ao lineamento Transbrasiliano e a sudeste pela zona de cisalhamento Senador Pompeu (ZCSP), sendo encoberta pelos sedimentos da Bacia do Parnaíba na porção sudoeste e oeste (Arthaud et al., 1998; Arthaud, 2005).

A geologia da área insere-se no Domínio Ceará Central (DCC) proposto por Caby & Arthaud (1986) e revisado por Fetter (1999), CPRM (2006) e, mais recentemente, por Arthaud (2007). Segundo os autores acima o DCC é composto por quatro unidades geotectônicas: 1–Núcleo Arqueano; 2 – Embasamento gnáissico paleoproterozóico; 3–Supracrustais de idade neoproterozóica; e 4–Complexo Tamboril Santa Quitéria.

O Núcleo Arqueano é representado pelo Complexo Cruzeta, aflorante na porção sudeste do Domínio Ceará Central e está limitado a leste pela zona de cisalhamento Senador Pompeu e a oeste e a norte pelos gnaisses do embasamento Paleoproterozóico (Figura 2.3).

O Complexo Cruzeta é seccionado pela Zona de Cisalhamento Sabonete-Inharé, sendo dividido em duas distintas unidades litológicas intituladas de Mombaça a sudeste e Unidade Pedra Branca a noroeste, ambas de afinidade TTG (Tonalítica, Tronjemítica e Granodiorítica) (Caby & Arthaud, 1986).

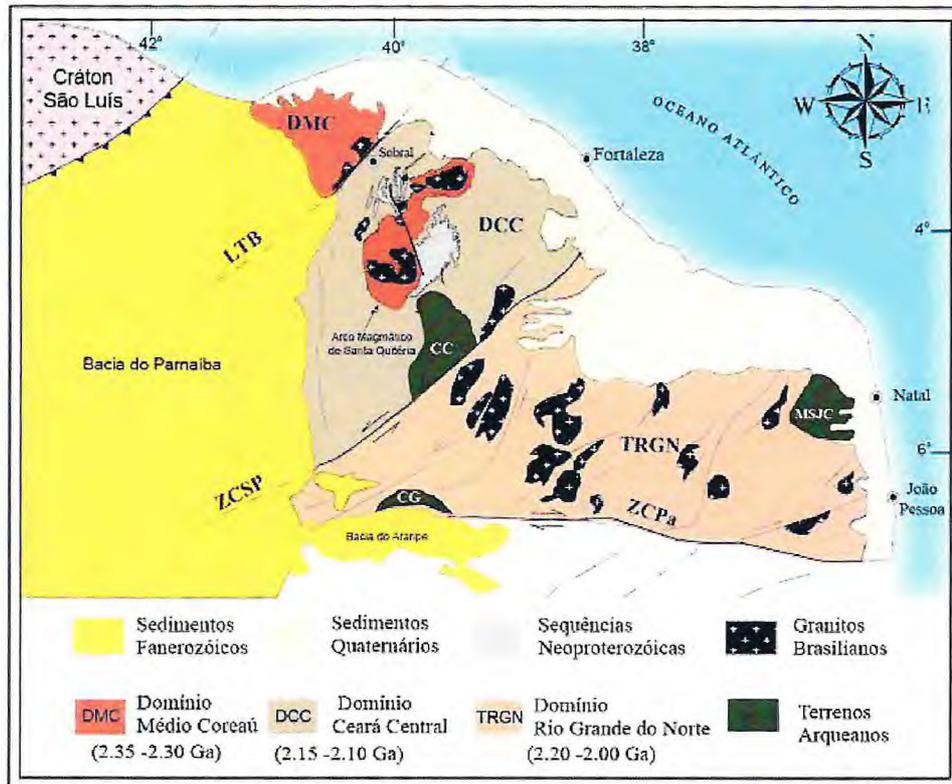


Figura 2.3: Porção setentrional da Província Borborema e dos arredores do lineamento Patos. LTB = Lineamento Transbrasiliiano; ZCSP = Zona de Cisalhamento Senador Ponpeu; ZCPa = Zona de Cisalhamento Patos; CC = Complexo Cruzeta; MSJC = Maciço São José Campestre; CG = Complexo Granjeiro (modificado de Van Schmus et al., 1995, por Amaral, 2010).

### 2.2.1 ARQUEANO

Os Terrenos Arqueanos da região de Pedra Branca/Mombaça são divididos em gnaisses cinzas (grey gneisses), derivados de protólitos plutônicos de natureza essencialmente tonalítica/granodiorítica, e rochas supracrustais formando associação do tipo greenstone-gnaisses (Pessoa & Archanjo, 1984; Caby & Arthaud, 1986; Caby et al, 1995).

Fetter (1999), por meio de análise isotópica U–Pb e Sm–Nd, aponta uma assinatura juvenil para a Unidade Pedra Branca enquanto que os litotipos da Unidade Mombaça apresentam indícios de retrabalhamento de fontes ligeiramente mais antigas. Similarmente, as idades de cristalização indicam que a Unidade Pedra Branca é mais jovem (ca. 2.7 Ga) que a Unidade Mombaça (ca. 2.8 Ga). No entanto, Silva et al. (2002) datou registros de crostas mais antigas utilizando U–Pb SHIRIMP em zircão de gnaisses tonalíticos localizados a sudoeste da cidade de Boa Viagem. As análises indicaram idade de  $3270 \pm 5$  Ma e uma borda sobrecrecida datada em  $2084 \pm 14$  Ma.

### 2.2.2. PALEOPROTEROZÓICO

As rochas de idade Paleoproterozóicas são dominantes no Domínio Ceará Central e podem ser subdivididas em duas subunidades: os Terrenos do tipo TTG e os terrenos granito-gnaissicos (Arthaud, 2005; Almeida et al., 2007).

### **2.2.2.1- TERRENOS TTG**

Margeiam a noroeste o Bloco Arqueano de Pedra Branca, aflorando desde a região de Madalena/Boa Viagem até a região de Choró. São constituídos principalmente por rochas metaplutônicas de composição tonalítica a granodiorítica associadas a Faixas Supracrustais (como a Sequência Algodões – Arthaud & Landim (1995) e Suíte Metamórfica Algodões–Choró (Martins, 2000)) constituídas de rochas metavulcânicas básicas (anfíbolitos com ou sem granada) e rochas metassedimentares diversas, inclusive formações ferríferas e magnésíferas bandadas.

Estas sequências apontam para idades em torno de 2,1 – 2,3 Ga para ortognaisses tonalíticos, datadas pelo método U–Pb em zircões (Fetter, 1999; Martins, 2000). Em anfíbolitos da Sequência Algodões, uma isócrona Sm–Nd em rocha total (Martins & Oliveira, 2004) forneceu idade de aproximadamente 2,23 Ga, compatíveis com o caráter intrusivo dos tonalitos/granodioritos nas rochas supracrustais, desenvolvendo-se em ambiente de arco oceânico.

### **2.2.2.2- TERRENOS GNÁISSICO – MIGMATÍTICOS**

Trata-se de uma associação complexa de rochas metaplutônicas, na qual predominam rochas de composição granítica metatonalítica onde metagranodioritos também sejam comuns, bem como rochas supracrustais diversas (metapelitos, quartzitos, rochas calcissilicáticas, metavulcânicas básicas, etc.). Os domínios vizinhos, Domínio Rio Grande do Norte (Complexo Caicó) e Domínio Orós Jaguaribe (Bloco Jaguaretama), apresentam idades  $T_{DM}$  compreendidas entre 2,4 e 2,7 Ga, indicando o retrabalhamento de crosta Arqueana (Fetter, 1999).

Duas sequências metavulcanossedimentares lineares e paralelas (Faixa Orós e Faixa Jaguaribe) são separadas por blocos do soco mais antigo de idade paleoproterozóica (São Nicolau e Jaguaretama), (Parente & Arthaud, 1995).

No Complexo gnáissico-migmatítico de Jaguaretama ocorrem ortognaisses de composição tonalítica a granodiorítica associados a rochas paraderivadas de alto grau metamórfico e variável grau de migmatização. As rochas metaplutônicas apresentam idades de cristalização entre 2.21 a 1.98 Ga e idade modelo  $T_{DM}$  entre 2.77 e 2.50 Ga (Fetter, 1999).

### **2.2.3 MESO – NEOPROTEROZÓICO**

O Mesoproterozóico é composto por coberturas metassedimentares que podem ser encontradas no Complexo Ceará (Arthaud et al., 1998b).

O Complexo Ceará é caracterizado pela ocorrência de rochas essencialmente metapelíticas e metapsamíticas, compostas por cianita-muscovita-biotita gnaiss, sillimanita-granada gnaiss, quartzitos, anfíbolitos, mármore, rochas cálcio-silicáticas e metarriolitos (Cavalcante et al., 2003, Fetter et al., 2003, Arthaud, 2008).

Estudos de proveniência em metapelitos e idades de cristalização U-Pb em zircões obtidas em rochas metamáficas intercaladas no Complexo Ceará sugerem um início de sedimentação ao redor de 750 Ma a partir do rifteamento do embasamento Arqueano/Paleoproterozóico (Arthaud, 2008). Fetter (1999) sugere que metariolitos da Sequência Independência apresentam uma idade U-Pb de  $772 \pm 31$  Ma e que os sedimentos que originaram as rochas metassedimentares do Complexo Ceará foram depositados em uma bacia do tipo retro-arco relacionada ao Arco Magmático Santa Quitéria.

#### 2.2.4 GRANITÓIDES BRASILIANOS

Durante o ciclo Orogênico Brasileiro, o Domínio Ceará Central foi intrudido por abundantes volumes de granitoides, agrupados por Arthaud (2007) nas seguintes categorias:

- I. Cedo Colisionais, representados por granitos do Arco Magmático de Santa Quitéria;
- II. Anatéticos aluminosos, correspondendo a granitos de duas micas do tipo S, gerados durante o pico metamórfico (batólito de Senador Pompeu e Banabuiú);
- III. Sin fase transcorrente, formados durante a fase transcorrente com extrusão lateral (Batólito de Quixeramobim e Quixadá);
- IV. Pós-colisionais, associados ao colapso da Cadeia Brasileira (Complexos anelares de Tauá e Taparuaba, com exames de diques ácidos a intermediários de Tauá e Independência e stocks graníticos da Serra da Barriga, São Paulo, Reriutaba, Mucambo e Meruóca).

Os granitos de Quixadá são representados por monzonitos e sienitos shoshoníticos porfiríticos, ricos em enclaves microgranulares (Almeida et al., 2008).

Cavalcante & Ferreira (1983) e Arthaud et al., (1987) descrevem as rochas do Complexo Quixeramobim como granitos polintrusivos que em função da textura, composição e grau de homogeneidade agrupam – se em diferentes fácies: Fácies Muxurê Velho; Fácies Uruquê; Fácies Serra Branca; Fácies Boa Fé; Fácies Água Doce; Fácies Muxurê Novo e os Mobilizados Tardios.

Também partem dos Granitoides Brasileiros, outros granitoides e pegmatitos associados, como “stocks” Serra Azul e Milhã, todo o distrito pegmatítico de Solonópole e os leucogranitoides associados aos pegmatitos (Torquato et al., 1989).

Datações pelo método U-Pb em grãos de zircões dos Batólitos Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu, fornecem idades de cristalização situadas no período de alojamento desses magmas no intervalo de 560-590 Ma (Nogueira, 2004).

## **2.2.5 PALEOZOICO**

### **2.2.5.1- PEGMATITOS**

O Campo pegmatítico de Banabuiú possui mineralogia rica em quartzo, feldspato, muscovita, granada e turmalinas, estando associado a granitos, migmatitos e gnaisses do embasamento, tendo contato intrusivo com todo conjunto. Estes pegmatitos são alóctones quando comparados aos granitos e são mais distribuídos nos gnaisses do Embasamento e em menor escala nos granitos. Os campos pegmatíticos são limitados por Zonas de Cisalhamento Orós e Senador Pompeu (Rosa, 2011).

Análises isotópicas K/Ar efetuadas em muscovita de três pegmatitos de Banabuiú revelam idades de aproximadamente 530 Ma, enquadrados no Cambriano Inferior (Lima, 2009).

## **2.2.6 CENOZOICO**

Todas as Unidades descritas nas seções anteriores podem estar parcialmente cobertas por depósitos recentes datados do Cenozóico. Estes depósitos são predominantemente constituídos por areias quartzosas, esbranquiçadas com níveis de seixos bem retrabalhados (Lima, 2008).

## CAPÍTULO III

### 3. GEOLOGIA LOCAL

#### 3.1 LITOESTRATIGRAFIA E DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES NA ÁREA MAPEADA

Serão apresentadas as principais unidades litoestratigráficas que compõem o arcabouço geológico da área pesquisada, tendo como base os dados coletados durante a etapa de campo, as análises petrográficas, além de referências bibliográficas já existentes. Logo em seguida, apresenta-se uma coluna litoestratigráfica com as litologias encontradas na região (Tabela 3.1).

Desta forma, a área pode ser dividida em quatro unidades litoestratigráficas, distribuídas da base para o topo, na seguinte ordem:

#### 3.2 EMBASAMENTO GNÁISSICO-MIGMATÍTICO (COMPLEXO ACOPIARA) (Ppa)

Este litotipo representa o embasamento do Domínio Ceará Central (DCC) e é representado por migmatitos cronologicamente situados no paleoproterozóico (Foto 3.1 e 3.2), apresentando idades-modelo  $T_{DM}$  (Sm/Nd) de 2.4 - 2.2 Ga (Fetter, 1999) e idade U/Pb em zircões de gnaiss de aproximadamente  $2.095 \pm 33$  Ma (Lima et al., 2010). Os migmatitos estão distribuídos principalmente nas porções a leste e a noroeste da área, com alguns corpos aflorantes distribuídos dentro do corpo granítico.



Foto 3.1: Metatexito estromático. Coordenadas: 0502897 N / 9416314 E



Foto 3.2: Fragmento de gnaiss dentro do metatexito. Coordenadas: 0502897 N / 9416314 E

Estas rochas atingiram condições de alta pressão e temperatura, o que possibilitou a ocorrência do processo de anatexia. Os afloramentos apresentam contatos, na maioria das vezes, gradacionais, com foliações subverticais variando entre 60 a 80 graus de mergulho e porções leucocráticas nos leucossomas e porções restíticas. Apresentam-se com granulação média a media-fina com alternância entre níveis quartzo-feldspáticos e níveis ricos em biotita.

Apresentam bandamento composicional estromático (ou acamadado), segundo a classificação proposta por Mehnert (1968). Este tipo de bandamento caracteriza-se pela formação de camadas paralelas que geralmente apresentam-se paralelas ao plano de xistosidade da rocha.

### 3.3. GRANITO BANABUIÚ (NP3 $\gamma$ 2i)

Este litotipo corresponde às rochas que intrudiram o complexo Acopiara e que apresentam, de acordo com Lima et al. (2010), uma idade de  $578,6 \pm 6,5$  Ma (datação U/Pb em zircões), fornecendo uma idade neoproterozóica para este granito. Apresenta-se sob a forma de lajedos de extensão que varia entre 5 a 50 metros. Localmente, apresenta foliação de fluxo magmático (Fig. 3.2) do ponto de vista macroscópico, no entanto, apresentam algumas diaclases (alívio de tensão) de tamanho métrico que evidenciam a reativação tectônica regional. Os corpos aflorantes observados exibem tamanhos que variam de alguns metros a até dezenas de metros.



Foto 3.2: Granito com presença de foliação de fluxo formada quando a rocha ainda se encontrava em estado dúctil a dúctil-rúptil.  
Coordenadas: 502300 N / 9416354 E

Em escala de afloramento, apresentam uma estrutura de fluxo magmático bastante suave e que obedece a um trending regional orientado aproximadamente no sentido NNE-SSO, e que pode estar relacionado com tectonismos tardios, ou seja, quando a rocha ainda apresentava alguma fase fluida. É bem provável que este tectonismo seja oriundo da Zona de Cisalhamento Orós, que se encontra a alguns quilômetros a leste da região.

Do ponto de vista descritivo, a rocha denominada como Granito Banabuiú apresenta-se superficialmente intemperizada, onde nas porções mais internas exhibe poucos ou nenhum indício de alteração. Apresenta granulação média a média-fina, com grãos de quartzo e plagioclásio de tamanho milimétrico e proporções normalmente equivalentes de muscovita e biotita distribuídas de maneira uniforme no corpo intrusivo. A presença destas micas na composição mineralógica sugere que este granito teria sido gerado a partir da fusão de rochas paraderivadas, o que caracteriza este como um granito tipo S.

Os contatos observados e/ou inferidos entre o migmatito e o Granito Banabuiú são normalmente cobertos pelos sedimentos terci-quaternários (colúvios) da região e, quando podem ser observados em superfície, apresentam uma gradação que sugere uma interação de fases fluidas entre a rocha encaixante e a intrusão granítica.

Apresenta-se recortado por veios de leucossoma e/ou pegmatitos, frequentemente encontrados nos afloramentos da região. Estes podem apresentar espessuras que variam de 2 a 4 cm, enquanto os veios pegmatíticos variando de centímetros a alguns decímetros. Foram observadas dobras ptigmáticas, que são formadas em altas condições de pressão e temperatura através de deformação em compressão não-coaxial, o que gera os padrões de dobramentos irregulares (Fig. 3.3).



Foto 3.3: Dobras ptigmáticas no Granito Banabuiú. Os padrões de dobramentos se desenvolvem em ambiente dúctil e em sistema de deformação não-coaxial. Coordenadas: 501597 N / 9416152 E

### 3.4 PEGMATITOS (ε0g)

Os veios pegmatíticos observados na região de Banabuiú e Solonópole, e que localmente recortam o Granito Banabuiú, apresentam idade K/Ar em muscovitas de 470 a 530 Ma (Almeida et al., 1968). Lima et al. (2008) sugerem que os corpos pegmatíticos de Banabuiú possuem idade isócrona de  $506 \pm 6.1$  Ma (idade Rb/Sr em K-Feldspatos, albitas e moscovitas), e idade K/Ar em muscovitas de 520 a 530 Ma, indicando uma cristalização no paleozóico.

Normalmente apresentam-se com larguras que variam de alguns centímetros a até mais de 30 cm (Fig. 3.4 e 3.5), sendo compostos basicamente por quartzo, feldspatos (sódicos e potássicos), muscovita e biotita. A predominância de contatos bruscos e retilíneos entre o “Granito Banabuiú” e os veios pegmatíticos (em casos isolados com contatos gradacionais) indicam que a intrusão deve ter ocorrido numa fase tardia a anorogênica. A baixa quantidade de muscovitas associada ao baixo volume de corpos pegmatíticos torna pouco provável a sua exploração econômica.



Foto 3.4: Veio pegmatítico composto por megacristais de KF e quartzo com tamanho decimétrico e veios de extensão métrica em migmatito da região. Coordenadas: 501354 N / 9416514 E



Foto 3.5: Veio pegmatítico com presença de micas de aprox. 1 a 2 cm. Coordenadas: 502346 N / 9417752 E

### 3.5 COBERTURAS COLÚVIO-ALUVIONARES (Q)

Esta unidade pode ser encontrada principalmente nas regiões ao centro e a nordeste da área, onde ocorrem as principais drenagens e acumulações de água da área. Os sedimentos cenozóicos dessa unidade são arenosos a areno-argilosos, sendo esta argila proveniente da alteração dos KF presentes nas rochas da região, processo este conhecido como caulinitização (Fig. 3.6). Além disso, os sedimentos apresentam uma coloração avermelhada a acastanhada, que pode ser originada a partir da oxidação de minerais que contenham ferro, como a biotita.



Foto 3.6: Coberturas sedimentares cenozoicas recobrando um possível contato do migmatito com o granito. Coordenadas: 504091 N / 9415448 E

O processo de construção das estradas secundárias usadas para locomoção na área tem inserido sedimentos quartzosos na área. Estes sedimentos não tem ligação nenhuma com as rochas da região, sendo mobilizadas de outros locais. Logo, estes sedimentos não foram classificados juntamente com as coberturas da região.

Tabela 3.1: Coluna litoestratigráfica proposta para a região

ÉON	ERA	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	LITOLOGIAS
PRÉ-CAMBRIANO	FANEROZOICO	CENOZOÍCO (65 Ma - ATUALMENTE)	Sedimentos coluvionares compostos basicamente por quartzo, argilominerais muscovita e/ou biotita com granulação média a fina, com coloração avermelhada a acastanhada
		PALEOZOICO (540 - 520 Ma)	Rocha ígnea de grão centimétrico composta basicamente por quartzo, feldspatos (sódico e potássico), biotita e muscovita. Apresentam-se sob a forma de intrusões de largura centimétrica a decimétrica, normalmente com contato brusco. Normalmente estão associados também alguns veios de leucossoma de tamanho menor.
	PROTEROZOICO	NEOPROTEROZOICO (1000 - 545 Ma)	Rocha ígnea que pode apresentar uma camada superficialmente alterada, onde as porções mais internas apresentam-se sem alterações visíveis. Apresenta granulação média a media-grossa, com grãos de quartzo de tamanho milimétrico e porções equivalentes de muscovita e biotita.
		PALEOPROTEROZOICO (2200 - 2100 Ma)	EMBASAMENTO GNÁISSICO-MIGMATÍTICO (COMPLEXO ACOPIARA) (Ppa)

## CAPÍTULO IV

## 4. ANÁLISE PETROGRÁFICA

### 4.1. INTRODUÇÃO

Após a execução do mapeamento geológico e da descrição dos litotipos observados, foram colhidas algumas amostras que representassem o mais fielmente possível as litologias estudadas. Portanto, este capítulo trata da descrição de lâminas petrográficas dos gnaisses/migmatitos e dos granitos encontrados.

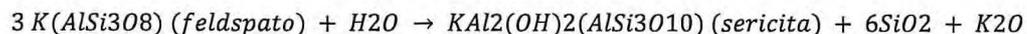
Nesta etapa foram descritas as lâminas petrográficas de amostras coletadas das três frentes de lavra (F1, F2 e F3) que correspondem ao Granito Banabuiú. Essa descrição foi baseada em parâmetros de rocha ornamental, visto que o interesse nesse material é o aproveitamento econômico. Também foram analisadas as amostras adjacentes a região de extração de rocha, objetivando comparar os dois materiais e estabelecer as devidas relações entre eles.

As abreviações minerais aqui usadas foram baseadas no trabalho de Siivola & Schmid (2007), e que se encontram descritas no capítulo “Lista de Abreviações Minerais”.

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

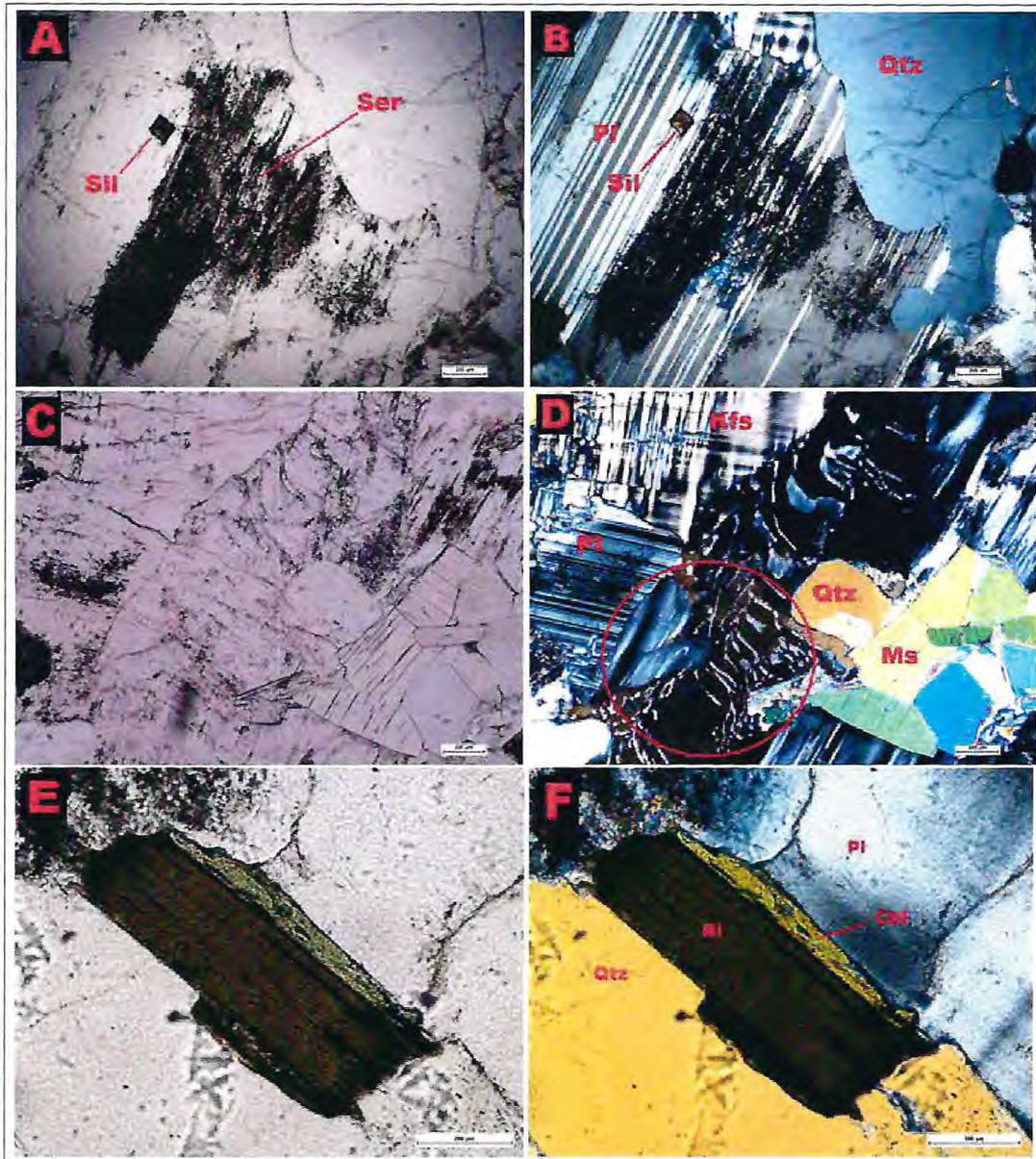
Como citado no parágrafo anterior, foram descritas as lâminas petrográficas correspondentes as frentes de lavra existentes na região de estudo (F1, F2 e F3). Foram caracterizadas como rochas com composição estimada definida por quartzo (28%), plagioclásio (22%), feldspato potássico (21%), biotita (15%), muscovita (12%), tendo como minerais acessórios zircão, apatita, granada, silimanita e opacos (somando 2%). As rochas foram definidas como sendo holocristalinas, faneríticas de grão fino a médio-fino (0,5 a 3 mm), com textura equigranular hipidiomórfica, onde os grãos apresentam contatos irregulares, variando entre plano-serrilhado, plano-lobular e irregular-serrilhado.

A geminação albita-periclina é observável na maioria dos grãos de KF, enquanto a geminação segundo lei da albita é a predominante nos grãos de plagioclásio. Foram observadas algumas inclusões de quartzo em grãos de KF, formando textura mirmequítica. Além disso, foram observadas diversas fissuras, em sua maioria, intragranulares, preenchidas por muscovita em alguns casos. Os grãos de KF apresentavam-se com alteração incipiente (10 a 30% da superfície do grão), e com ocorrência de sericitização, que é descrita segundo a reação:



A muscovita e a biotita apresentam-se distribuídas de maneira homogênea nas lâminas analisadas, sendo comum a sua observação sob a forma de inclusões em grãos de plagioclásio e KF, além de apresentarem quase sempre contatos plano-serrilhados tanto com os grãos de quartzo como com os de plagioclásio e KF. Foi observado que os

grãos de biotita apresentam pleocroísmo variando do marrom ao esverdeado, o que evidencia o processo de cloritização deste mineral.



Fotomicrografia 4.1 (Amostras AM F1-A, AM F2-B e AM F3-A): (A) Sericitização do plagioclásio e presença de uma seção basal da silimanita. (B) Plagioclásio com geminação polissintética e cristal de quartzo com fraturas. (C) Grãos alterados e fraturados. (D) Grãos de KF exibindo geminação do tipo albita-periclina, plagioclásio exibindo geminação do tipo polissintética, aglomerado de grãos de muscovita e, em destaque, uma textura de exsolução tipo pertita/antipertita. (E) Grão de biotita bordejado por clorita. (F) Grão de clorita, que pode ter se formado por alteração metamórfica retrógrada da biotita, ou pode estar presente como um produto de alteração hidrotermal.

A tabela 4.1 sintetiza as informações petrográficas obtidas das amostras estudadas, a qual segue abaixo:

Tabela 4.1: Dados obtidos a partir da análise petrográfica das amostras coletadas.

PARÂMETROS		AM F1-A	AM F2-B	AM F3-A
ÍNDICE DE COR (IC)		LEUCOCRÁTICA	LEUCOCRÁTICA	LEUCOCRÁTICA
ESTRUTURA		-	-	-
TEXTURA		INEQUIGRANULAR GRANOBLÁSTICA	INEQUIGRANULAR GRANOBLÁSTICA	INEQUIGRANULAR GRANOBLÁSTICA
GRANULOMETRIA		FINA A MÉDIA- FINA (0.5 A 3 mm)	FINA A MÉDIA- FINA (0.5 A 3 mm)	FINA A MÉDIA- FINA (0.5 A 3 mm)
MINERAIS MÁFICOS (%)		15	10	18
MINERALOGIA PRIMÁRIA	% FELDSPATO POTÁSSICO	21	18	21
	GRAU DE ALTERAÇÃO	INCIPIENTE (10 A 30%)	INCIPIENTE (10 A 30%)	INCIPIENTE (10 A 30%)
	CONTATOS	PLANO- SERRILHADO; IRREGULAR- SERRILHADO; PLANO LOBULAR	PLANO- SERRILHADO; IRREGULAR- SERRILHADO	PLANO- SERRILHADO; IRREGULAR- SERRILHADO
	%QUARTZO	28	32	21
	GRAU DE ALTERAÇÃO	MUITO INCIPIENTE (5 A 10%)	MUITO INCIPIENTE (5 A 10%)	MUITO INCIPIENTE (5 A 10%)
	CONTATOS	CÔNCAVO- SERRILHADO; IRREGULAR SERRILHADO	CÔNCAVO- SERRILHADO; IRREGULAR SERRILHADO	CÔNCAVO- SERRILHADO; IRREGULAR SERRILHADO
	%PLAGIOCLÁSIO	22	22	25
	GRAU DE ALTERAÇÃO	INCIPIENTE (10 A 30%)	INCIPIENTE (10 A 30%)	INCIPIENTE (10 A 30%)
	CONTATOS	PLANO- SERRILHADO; IRREGULAR- SERRILHADO	PLANO- SERRILHADO; IRREGULAR- SERRILHADO	PLANO- SERRILHADO; IRREGULAR- SERRILHADO
	% BIÓTITA	15	10	18
	GRAU DE ALTERAÇÃO	MUITO INCIPIENTE (5 A 10%)	MUITO INCIPIENTE (5 A 10%)	MUITO INCIPIENTE (5 A 10%)
	CONTATOS	PLANO- SERRILHADO; IRREGULAR SERRILHADO	PLANO- SERRILHADO; IRREGULAR SERRILHADO	PLANO- SERRILHADO; IRREGULAR SERRILHADO
	% MUSCOVITA	12	14	12
	GRAU DE ALTERAÇÃO	MUITO INCIPIENTE (5 A 10%)	MUITO INCIPIENTE (5 A 10%)	MUITO INCIPIENTE (5 A 10%)
	CONTATOS	PLANO- SERRILHADO; IRREGULAR SERRILHADO	PLANO- SERRILHADO; IRREGULAR SERRILHADO	PLANO- SERRILHADO; IRREGULAR SERRILHADO
MINERAIS ACESSÓRIOS	APATITA (1%), ZIRCÃO (1%)	APATITA (1%), ZIRCÃO (1%), GRANADA (1%), OPACOS (1%)	APATITA (1%), ZIRCÃO (1%), GRANADA (1%)	
CLASSIFICAÇÃO	MONZOGRANITO	MONZOGRANITO	MONZOGRANITO	
MICROFISSURAS (mm <sup>2</sup> )	INTRAGRÃO	2,9	2,75	2,43
	INTERGRÃO	0,25	0,05	0,15

A partir das percentagens estimadas, petrograficamente, das amostras F1, F2 e F3, utiliza-se o diagrama QAP (Fig. 4.1) de Streckeisen (1976). A partir da observação

deste diagrama, observamos que estas apresentam composição semelhante, sendo classificadas como monzogranitos.

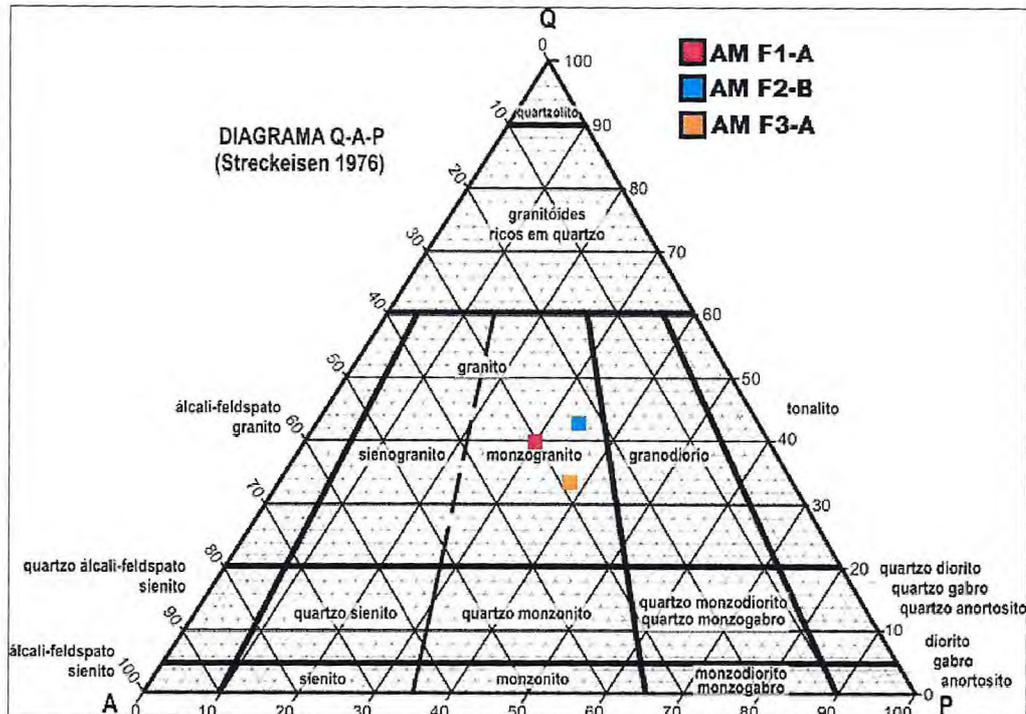


Fig. 4.1: Diagrama de Streckeisen (1976) (QAP) para as amostras da frente de lava analisadas

### 4.3. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DO EMBASAMENTO GNÁISSICO-MIGMATÍTICO

De acordo com as observações petrográficas analisadas, podemos definir dois litotipos diferentes para o embasamento: o silimanita gnaisse (AM 83-A) e o migmatito (AM 78).

Microscopicamente, a amostra AM 78 foi classificada como holocristalina leucocrática, com granulometria fina, textura alotriomórfica granolepidoblástica com grãos equigranulares, exibindo grãos bastante alterados, com associação entre biotita e muscovita bastante evidente, formando uma foliação. Quanto à estimativa de composição mineralógica, a rocha é composta por quartzo (29 %), plagioclásio (18 %), feldspato potássico (27 %), muscovita (15 %) biotita (10 %) e como minerais acessórios foram observados minerais opacos (1 %).

Foi observado que a maioria dos minerais micáceos presentes na rocha encontravam-se posicionados entre os grãos de quartzo, plagioclásio e KF, formando uma foliação não muito bem definida, o que pode ser interpretado como segregação metamórfica. A segregação (ou diferenciação) metamórfica é um processo comum na formação de gnaisses granitoides e dá origem ao bandamento característico de gnaisses.

Na amostra AM-78, foi observado, de uma maneira geral, uma alteração considerável, com ocorrência de associações entre os grãos de quartzo e muscovita e presença de textura mirmequítica (quartzo + KF).

O KF apresenta uma geminação do tipo albíta-periclina pouco visível devido ao estado de alteração em que se encontravam os seus grãos. A mesma situação foi observada nos grãos de plagioclásio.

Também foi observada uma estreita associação entre os grãos de muscovita e biotita, formando aglomerados intergranulares maiores de quartzo, KF e plagioclásio. Os grãos de biotita não apresentaram indícios de cloritização.

A amostra AM 83-A foi classificada como uma rocha inequiangular alotriomórfica com textura granolepidoblástica com mineralogia essencial composta por quartzo (36%), plagioclásio (20%), KF (7%), silimanita (18%), muscovita (5%), biotita (12%) e como acessórios tendo granada (1%) e opacos (1%).

Os grãos de quartzo apresentam-se pouco alterados, com fraturas, exibindo alguns grãos com bordas recristalizadas, apresentando textura de exsolução (mirmequítica) quando associado ao KF. Existe um predomínio de grãos de KF e biotita em comparação com os de plagioclásio e muscovita, respectivamente. Normalmente os grãos de biotita encontram-se associados aos de silimanita.

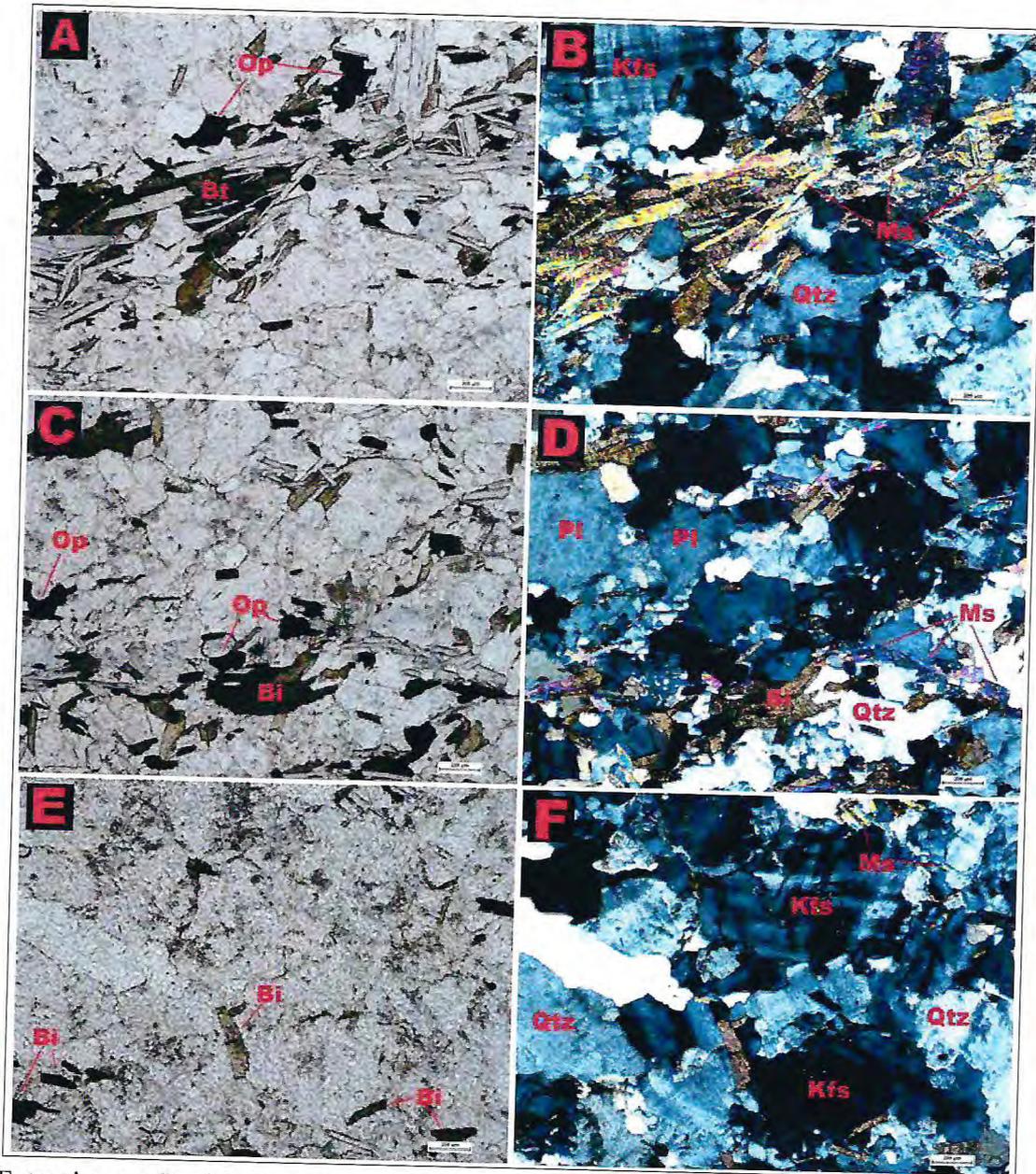
Os grãos de silimanita encontram-se bastante alterados e fraturados. A presença de minerais como a silimanita (ou seus polimorfos andaluzita e cianita) definem os limites (superior e/ou inferior) de pressão e temperatura aos quais a amostra foi submetida. Como polimorfo de baixa pressão e alta temperatura, a silimanita indica que esta rocha pode ter alcançado condições de alto grau metamórfico ( fácies anfíbolito médio a granulito). A origem deste litotipo remete a um protólito sedimentar.

#### **4.4 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DA ROCHA DO CONTATO**

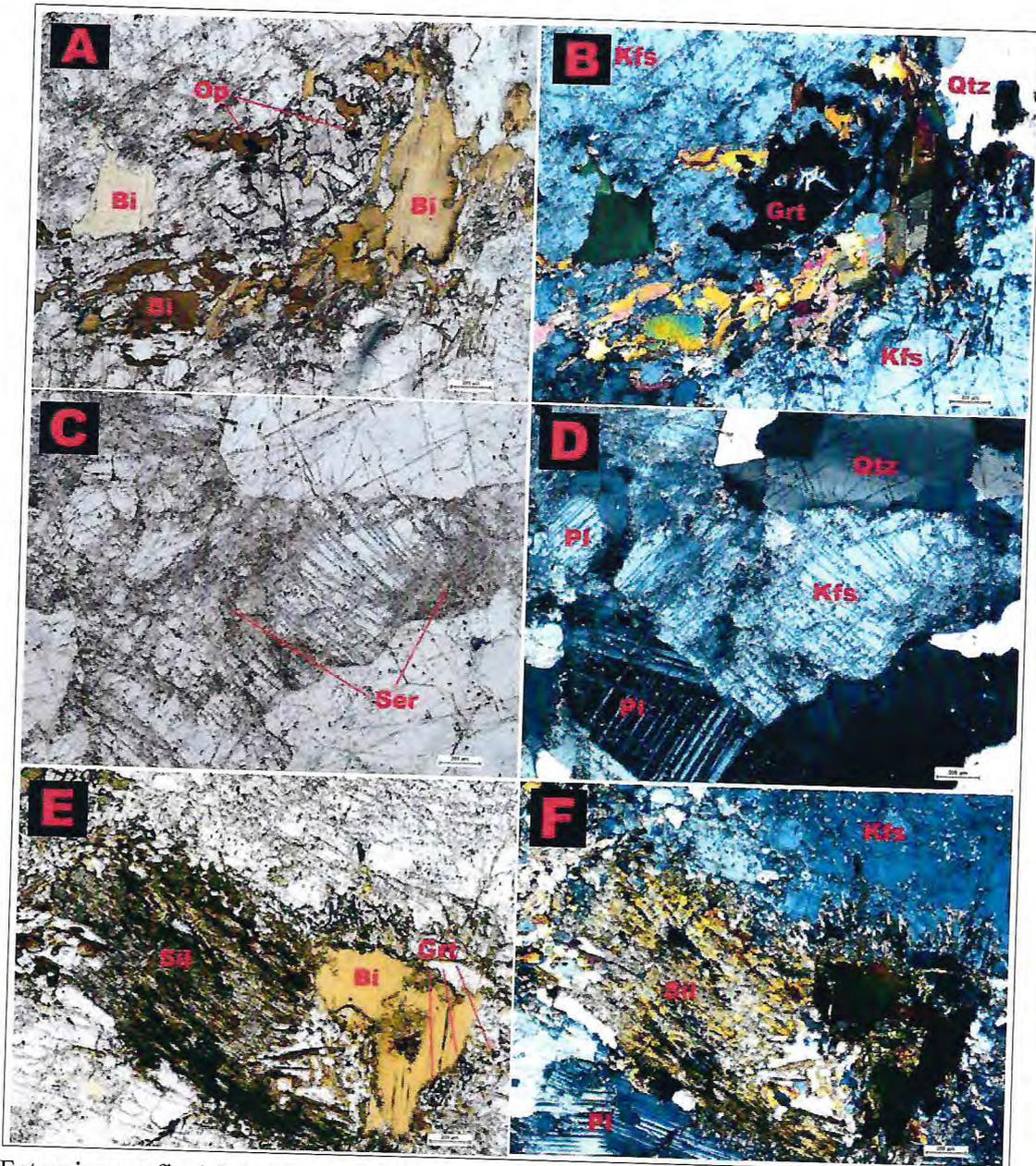
De acordo com as observações petrográficas analisadas, podemos dizer que a amostra é um biotita granodiorito com muscovita (AM 46-C).

O litotipo foi classificado como uma rocha equigranular alotriomórfica com textura granular composta por quartzo (48%), plagioclásio (21%), muscovita (3%), biotita (12%), KF (14%) e como acessórios tendo granada (1%) e opacos (1%).

Os grãos de quartzo parecem estar formando junções tríplices nos contatos entre grãos, além de apresentarem-se em uma granulação mais fina que o observado nas outras rochas e pouco alterados. Além disso, este mineral ocorre sob a forma de inclusões em KF e plagioclásios, formando textura mirmequítica com este último.



Fotomicrografia 4.2 (amostra AM 78): (A) Grãos de biotita associados à minerais opacos. (B) Aglomerados de biotita e muscovita formando foliação bordejando grãos de KF e quartzo. (C) Grãos de biotita e minerais opacos em uma matriz quartzo-feldspática. (D) Grãos de muscovita e biotita bordejando os grãos de quartzo e KF. (E) Pequenos grãos de biotita alterados. (F) Grãos de KF e quartzo bordejados por biotita e muscovita.



Fotomicrografia 4.3 (amostra AM 83-A): (A) Biotitas cloritizadas associadas à granadas e opacos. (B) Grãos de biotita ocorrendo associados ao KF, quartzo e granada. (C) Grãos de KF exibindo sericitização. (D) Cristal de KF exibindo fraturas preenchidas e bordado por plagioclásio e quartzo. (E) Cristal de silimanita alterado associado à biotita. Fragmentos de granada associada à biotita. (F) Cristal de silimanita alterado e associado à biotita e plagioclásio.

Os grãos de KF encontram-se moderadamente alterados apresentando macla do tipo microclina, com fraturas preenchidas por sericita e/ou muscovita, abrigando inclusões de quartzo e muscovita. Os grãos de plagioclásio, quando presentes, exibem geminação polissintética (lei da albita), com alteração incipiente e com granulação fina.

As biotitas apresentam-se em pequenos aglomerados ou em grãos individuais, não sendo observada a cloritização deste mineral como nas outras amostras. Os grãos apresentam uma orientação muito leve, que deve ser originada pelo fluxo do líquido magmático gerador da rocha. As muscovitas foram encontradas em associação com a biotita ou como inclusões em KF. Nos dois casos, ocorrem em pequena quantidade.

A partir dos dados obtidos, foi possível plotar as amostras no diagrama de Streckeisen (1976) conforme a figura 4.3. A partir da observação deste diagrama, chegamos à conclusão que a amostra é um granodiorito.

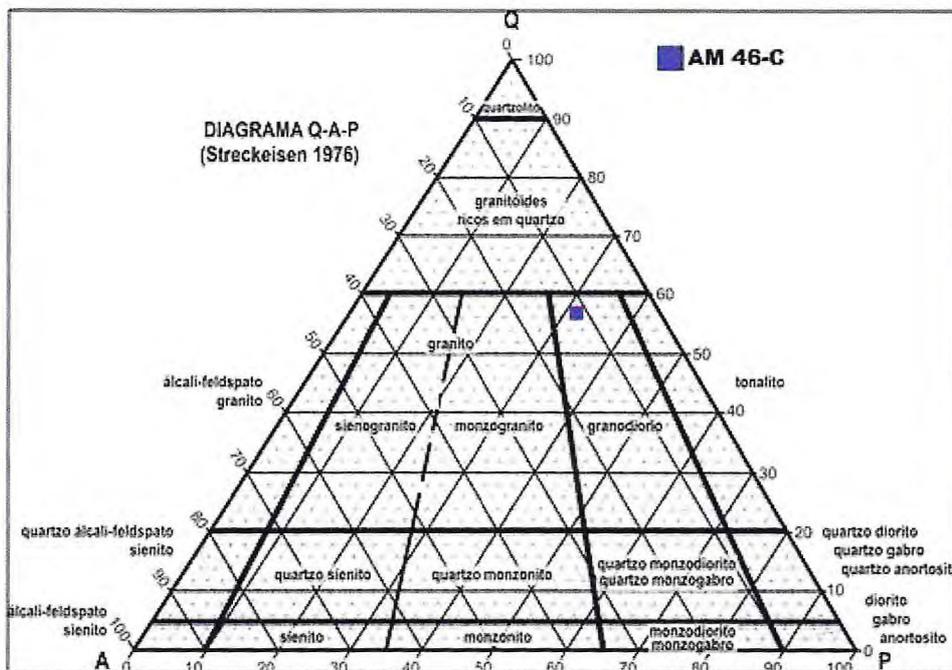
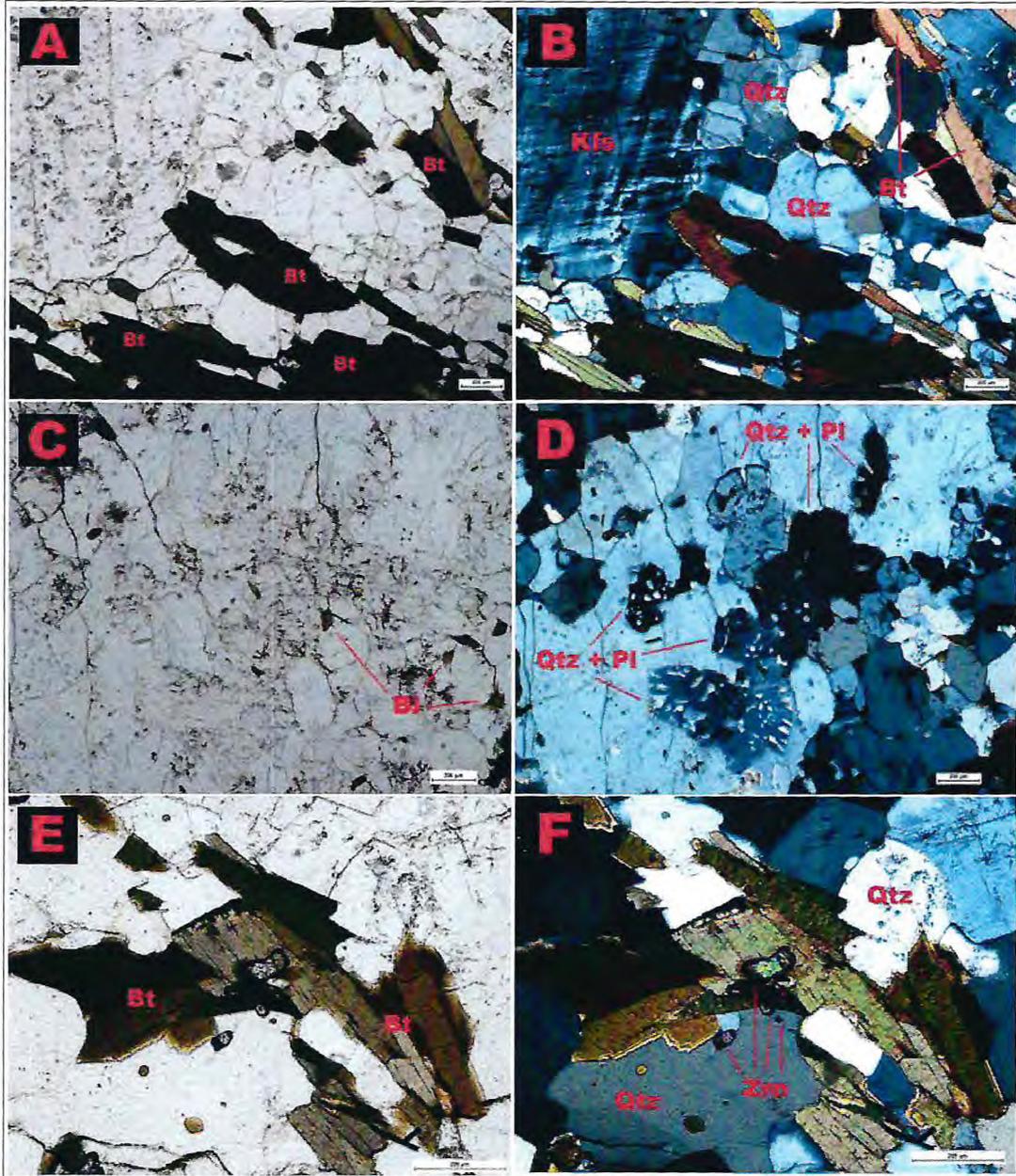


Fig. 4.3: Diagrama de Streckeisen (1976) (QAP) para a amostra AM 46-C



Fotomicrografia 4.4 (amostra AM 46-C): (A) Biotitas ocorrem em pequenos aglomerados ou em grãos individuais sem indícios de cloritização. (B) Os grãos de muscovita normalmente ocorrem associados à biotita ou como inclusões em KF. (C) Os grãos de biotita também podem ocorrer bordejando os grãos de quartzo. (D) Formação de textura mirmequítica, que se caracteriza por um intercrescimento entre massas de quartzo sob a forma de vermes ou dedos inclusos em grãos de albite. (E) Aglomerados de biotita bordejado por uma matriz quartzosa. (F) Grãos (fragmentos) de zircão inclusos em uma massa de biotita com presença de halo pleocróico.

## **CAPÍTULO V**

## 5. ANÁLISE ESTRUTURAL

### 5.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como principal objetivo exibir o estudo feito das descontinuidades dos maciços graníticos observados em campo. Para tanto, é necessário que se definam alguns conceitos básicos sobre descontinuidades, juntas, famílias e sistemas de juntas. Após isso, será descrita a metodologia usada na caracterização estrutural dos maciços e apresentados os resultados obtidos.

Segundo Marques (2013), as descontinuidades presentes nas rochas determinam, em grande parte, as propriedades mecânicas do maciço rochoso, a estabilidade dos taludes naturais e de escavação e o tamanho e a forma dos blocos a extrair. Por isso, o estudo das descontinuidades constitui um aspecto importante na caracterização geomecânica dos maciços rochosos e na exploração da rocha natural.

Segue abaixo as definições utilizadas nesta metodologia:

**Descontinuidade:** é o termo geral para qualquer descontinuidade mecânica do maciço rochoso, e que tenha nenhuma ou baixa resistência à tração. É um termo coletivo para a maioria dos tipos de juntas, planos de acamamento e xistosidade mais fracos, zonas de fraqueza e falhas (ISRM, 1983).

**Junta (ou diáclase):** é uma quebra de origem geológica na continuidade de um corpo de rocha ao longo do qual não houve nenhum deslocamento visível. Um grupo de juntas paralelas é chamado de **família de juntas**, e grupos de famílias que se intersectam são chamados de **sistemas de juntas**. As juntas podem ser abertas, preenchidas ou seladas. As juntas que frequentemente formam-se paralelas aos planos de acamamento, foliação e clivagem, pode ser dado o nome de juntas de acamamento, juntas de foliação e juntas de clivagem, respectivamente (ISRM, 1983).

**Orientação:** É a atitude da descontinuidade no espaço (Figura 5.1). Descrita pelo rumo do mergulho (azimute) e mergulho da linha de maior inclinação sobre o plano de descontinuidade ( $\beta$ ). Exemplo: direção do mergulho/mergulho ( $150^\circ\text{Az}/30^\circ$ ) (ISRM, 1983).

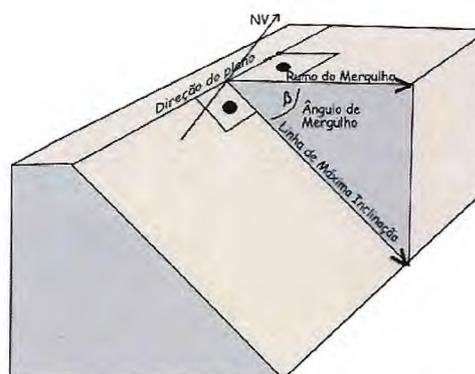


Fig. 5.1: Relações entre rumo e ângulo do mergulho de um plano e a direção (strike) deste plano. Adaptado de <http://www.dicionario.pro.br/index.php/Bússola>

**Espaçamento:** É a distância perpendicular entre descontinuidades adjacentes (Fig 5.2). Refere-se normalmente ao espaçamento médio ou modal de uma família de juntas (ISRM, 1983). Este parâmetro determina o tamanho dos blocos que resultam da interseção das diáclases de diferentes famílias, influenciando também a deformabilidade, a resistência e a permeabilidade do maciço. Quanto menor o espaçamento, pior a qualidade geomecânica do maciço rochoso (Marques, 2013).



Foto 5.2: Espaçamento (linhas verdes) e persistência (linhas vermelhas) das diáclases. Extraído de Marques (2013)

Como os valores do espaçamento apresentam geralmente alguma dispersão, os resultados obtidos para cada família de diáclases costumam ser apresentados através de histogramas de frequência (Marques, 2013). A classificação usada para a quantificação do espaçamento encontra-se na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Descrição do espaçamento segundo Vallejo et al (2002)

Descrição	Espaçamento (mm)
Extremamente próximas	< 20
Muito próximas	20 - 60
Próximas	60 - 200
Moderadamente afastadas	200 - 600
Afastadas	600 - 2000
Muito afastadas	2000 - 6000
Extremamente afastadas	> 6000

**Persistência:** É a extensão do traço de uma descontinuidade conforme observado em um afloramento (Fig. 5.2). Pode ser uma medida aproximada de sua extensão em área ou comprimento de penetração da descontinuidade. Se a descontinuidade acaba em rocha sã ou em outra descontinuidade, a persistência diminui (ISRM, 1983). Como a superfície de descontinuidade é, em geral, uma superfície de baixa resistência, quanto mais extensa, mais condiciona a estabilidade do maciço

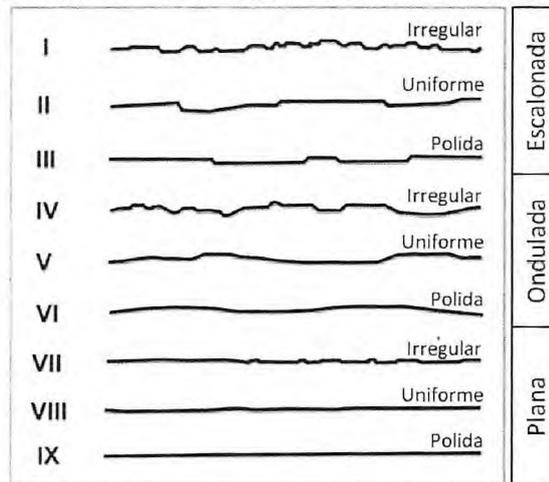
rochoso (Marques, 2013). A persistência das famílias de fraturas pode ser classificada de acordo com a Tabela 5.2 em:

Tabela 5.2: Classificação da persistência (ISRM, 1981)

Persistência	Comprimento (m)
Muito baixa	< 1
Baixa	1 a 3
Média	3 a 10
Alta	10 a 20
Muito alta	> 20

**Rugosidade:** Refere-se à a rugosidade da superfície e ondulação relativa ao plano médio de uma descontinuidade. A rugosidade e ondulação contribuem para a resistência ao cisalhamento. Ondulação em grande escala pode também modificar o mergulho local (ISRM, 1983). A figura 5.2 exibe a classificação proposta por ISRM (1981) para os diferentes tipos de rugosidade das descontinuidades.

Figura 5.2: Diagrama para classificação de rugosidade em descontinuidades segundo ISRM (1981).



**Abertura:** É a distância perpendicular entre paredes adjacentes de uma descontinuidade, cujo espaço intermediário é preenchido por ar ou materiais (ISRM, 1983). Este parâmetro pode variar muito, dependendo da zona do maciço onde se encontra, ou seja, é comum encontrarem-se diáclases com maior abertura junto da superfície topográfica do maciço e menor em profundidade, podendo mesmo chegar ao extremo de se encontrarem fechadas. Neste caso, o que se costuma quantificar é a abertura média (Conceição, 2012).

As aberturas das diáclases podem ser resultado de vários processos geológicos, como por exemplo, movimentos gerados por tensões de tração, transporte de materiais inconsolidados (argila, por exemplo), dissolução e intemperismo físico. A abertura tem influência na resistência ao deslizamento já que a uma maior abertura corresponde uma diminuição de contatos entre as paredes da descontinuidade (Conceição, 2012).

De acordo com o valor da abertura, são designadas as seguintes classificações (Tabela 5.3):

Tabela 5.3: Descrição de abertura (ISRM, 1981)

Designação	Abertura (cm)
Muito fechadas	< 0,01
Fechadas	0,01 a 0,025
Parcialmente fechadas	0,025 a 0,05
Abertas	0,05 a 0,25
Larga	0,25 a 1
Muito larga	1 a 10
Extremamente larga	10 a 100
Cavernosa	> 100

**Preenchimento:** É o material que separa as paredes adjacentes de uma descontinuidade e que usualmente é mais fraco que a rocha que lhe deu origem. Os materiais típicos de preenchimento são: areia, silte, argila, brecha e milonito (Fig. 5.3). Também inclui filmes de minerais secundários e descontinuidades seladas, por exemplo: quartzo e veios de calcita (ISRM, 1983).

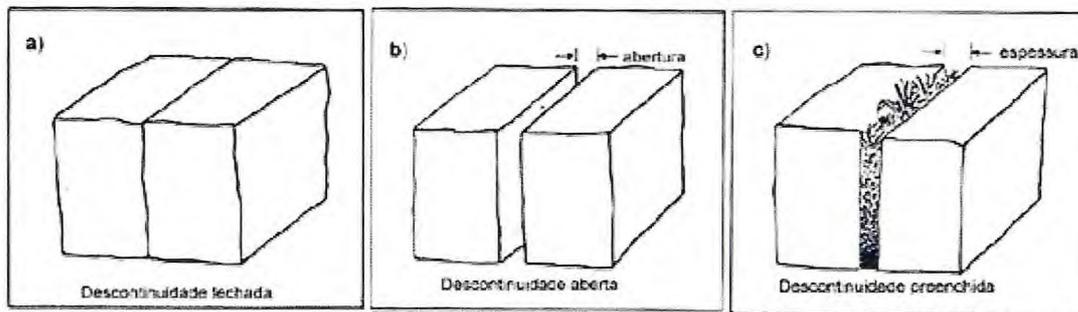


Fig. 5.3: Esquema de preenchimento de aberturas. Em "a" o preenchimento, se presente, pode ser composto por materiais de tamanho muito pequeno, como silte e argila. Em "b" tem-se uma abertura com tamanho bem maior, o que permite o acúmulo de sedimento de vários tipos, podendo conter matéria orgânica, como visto em "c". Adaptado de Campos et al (1992)

**Percolação:** Indícios de fluxo de água e umidade livre, visíveis em descontinuidades individuais ou no maciço rochoso como um todo (ISRM, 1983).

**Número de famílias:** É a quantidade de juntas paralelas existentes no maciço. O maciço rochoso pode conter também descontinuidades individuais (ISRM, 1983).

**Tamanho de blocos:** São as dimensões dos blocos de rocha que resultam, geralmente, da interseção de quatro sistemas de juntas adjacentes. Descontinuidades individuais podem também influenciar o tamanho e a forma dos blocos (ISRM, 1983).

## 5.2 RESULTADOS

Na etapa de campo ocorreu um reconhecimento da área selecionada, a fim de mapear afloramentos onde fosse possível observar as características buscadas de acordo com os objetivos propostos. Assim, foram descritos afloramentos cujo grau de alteração fosse baixo ou, de preferência, ausente, e onde fossem visíveis diaclases, famílias de diaclases e/ou sistemas de diáclases. Primeiramente, ocorreu um etapa de mapeamento mais abrangente, onde foram mapeados diversos afloramentos por toda a área de estudo. Posteriormente, foi realizado um estudo no local da frente de lavra, com o intuito de correlacionar os dados obtidos.

### 5.2.1 ETAPA DE MEDIDAS DA ÁREA DE ESTUDO

Foram coletadas 38 medidas (sistema Clarr ou *dip/direction*) de diáclases distribuídas de maneira a se visualizar afloramentos por toda a área de estudo. Foi observada a ocorrência tanto de pares cisalhantes (Foto. 5.2) como de diáclases individuais (Foto. 5.3), onde foi coletada a atitude da(s) diáclase(s).

As diáclases regionais apresentam-se, em sua maioria, verticalizadas a semi-verticalizadas, com espaçamentos que variam de alguns centímetros até alguns metros. Estas estruturas podem se estender por vários metros, com rugosidade variando de plana irregular a plana polida, e preenchimento composto por sedimento areno-argiloso de composição quartzo-feldspática com alguns fragmentos maiores da ordem de 0,5 cm.



Foto 5.2: Par cisalhante observado no ponto 02, em granito superficialmente alterado. Atitudes: 73°Az/90° e 103°Az/90°. Coordenadas: 0502401 m E / 9416472 m S.



Fig. 5.3: Diáclases paralelas observadas no ponto 12. Atitude: 154°Az/78°. Coordenadas: 0501354 m E / 9416514 m S.

Após a coleta dos dados em campo, ocorreu o processamento destes através do *software* OpenStereo 0.1.2, onde foram confeccionados os diagramas de roseta e os diagramas de contorno das atitudes dos planos de fratura. Os diagramas são descritos na Fig. 5.4.

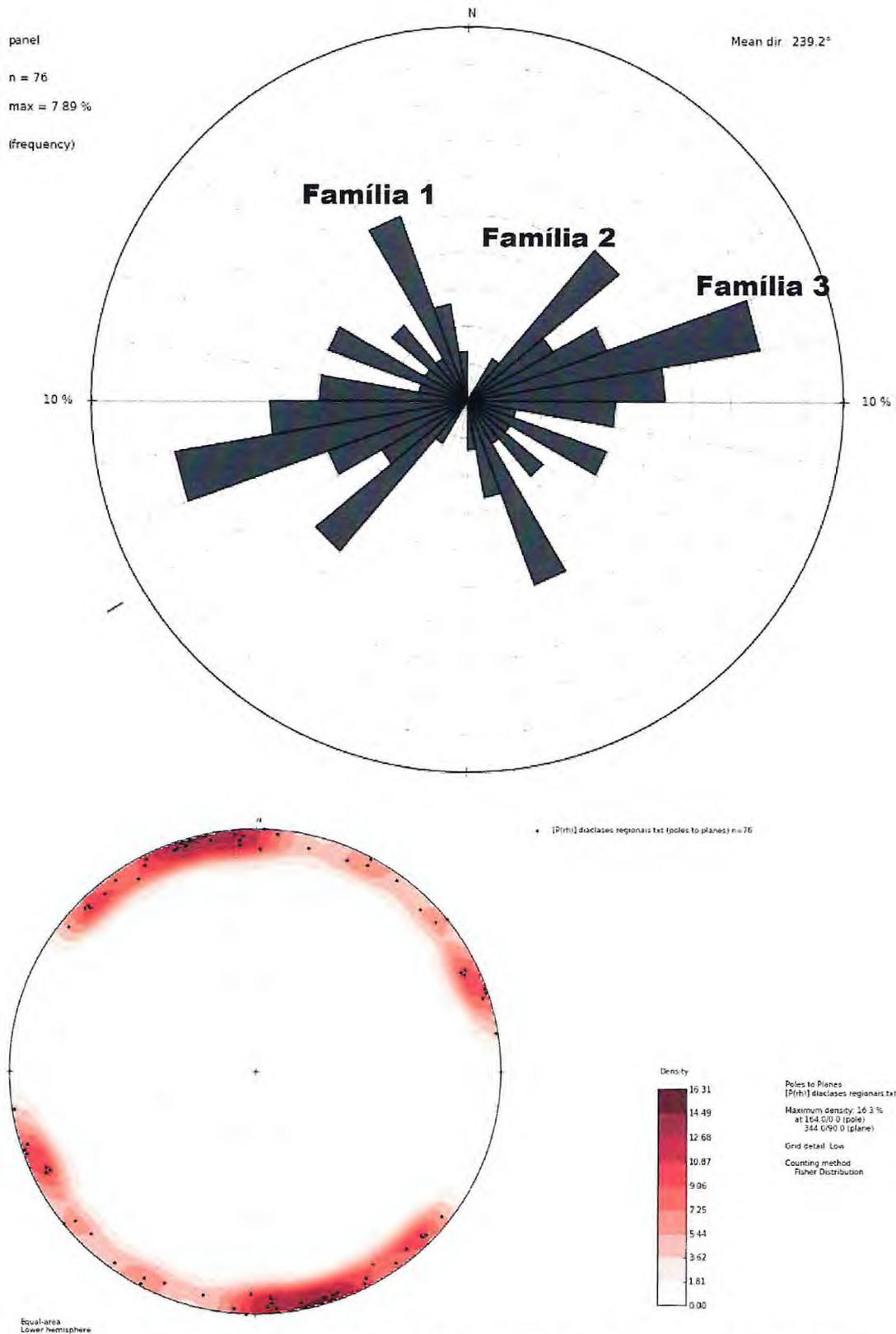


Fig. 5.4: Diagramas produzidos a partir dos dados tratados no software OpenStereo. Acima, o diagrama de rosetas e abaixo, o diagrama de contorno de pólos. A partir da análise dos dados, podem ser descritas três famílias principais de fraturas regionais.

A partir dos diagramas acima exibidos, podemos ver que podem ser definidas pelo menos três famílias de diáclases para a escala de estudo: a primeira, no sentido

NO-SE, a segunda, no sentido NE-SO e a terceira no sentido ENE-OSO, formando um ângulo médio aproximado de 60 graus entre as famílias 1 e 2 e um ângulo de aproximadamente 30 graus entre as famílias 2 e 3. Isso pode ser explicado pela proximidade com a Zona de Cisalhamento Orós, que pode ter formado o padrão de cisalhamento aqui observado.

Notou-se que este padrão possui bastantes semelhanças com o modelo clássico do padrão de fraturamento de Riedel (Fig. 5.5), onde as famílias 1 e 2 corresponderiam aos eixos de deformação X e R', respectivamente, e a família 3 corresponderia ao eixo R. Apesar de o conceito de diáclase não estar associado a movimento de blocos, a disposição das diáclases é bem semelhante. Isso pode ser interpretado como se o esforço tectônico não fosse suficiente para gerar feições de deformação (fase anorogênica).

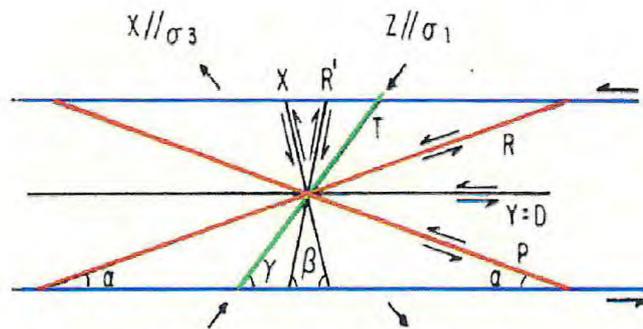


Fig. 5.5: Modelo de falhas de Riedel, onde R representa a fratura de cisalhamento de Riedel (ou sintética), R' representa a fratura de cisalhamento conjugada (ou antitética), P e X representam as fraturas de cisalhamento (ou sintéticas secundárias) e a fratura de cisalhamento Y ou D, que se formam paralelamente ao binário em casos extremos. Adaptado de <http://www.geologia.ufpr.br/graduacao2/estrutural/Aula5FRATURAS.pdf>

### 5.2.2 ETAPA DA FRENTE DE LAVRA

Esta etapa foi desenvolvida a partir da coleta sistemática de todas as fraturas encontradas nas frentes de lavra, o que possibilitou a coleta de 295 medidas de diáclases. Após o tratamento dos dados obtidos, foi possível observar a ocorrência de um sistema de diáclases bem definidas, que são exibidas na Fig. 5.6.

As diáclases locais apresentavam-se, em sua maioria, verticalizadas, com mergulhos variando entre 80 e 90 graus, com espaçamentos que variavam de 0,5 a 10 metros. Estas estruturas se estendiam por até 20 metros, com rugosidade variando de plana irregular a plana polida e sem preenchimento na maioria dos casos, pois a abertura das diáclases quase sempre era inferior a 0,25 mm.

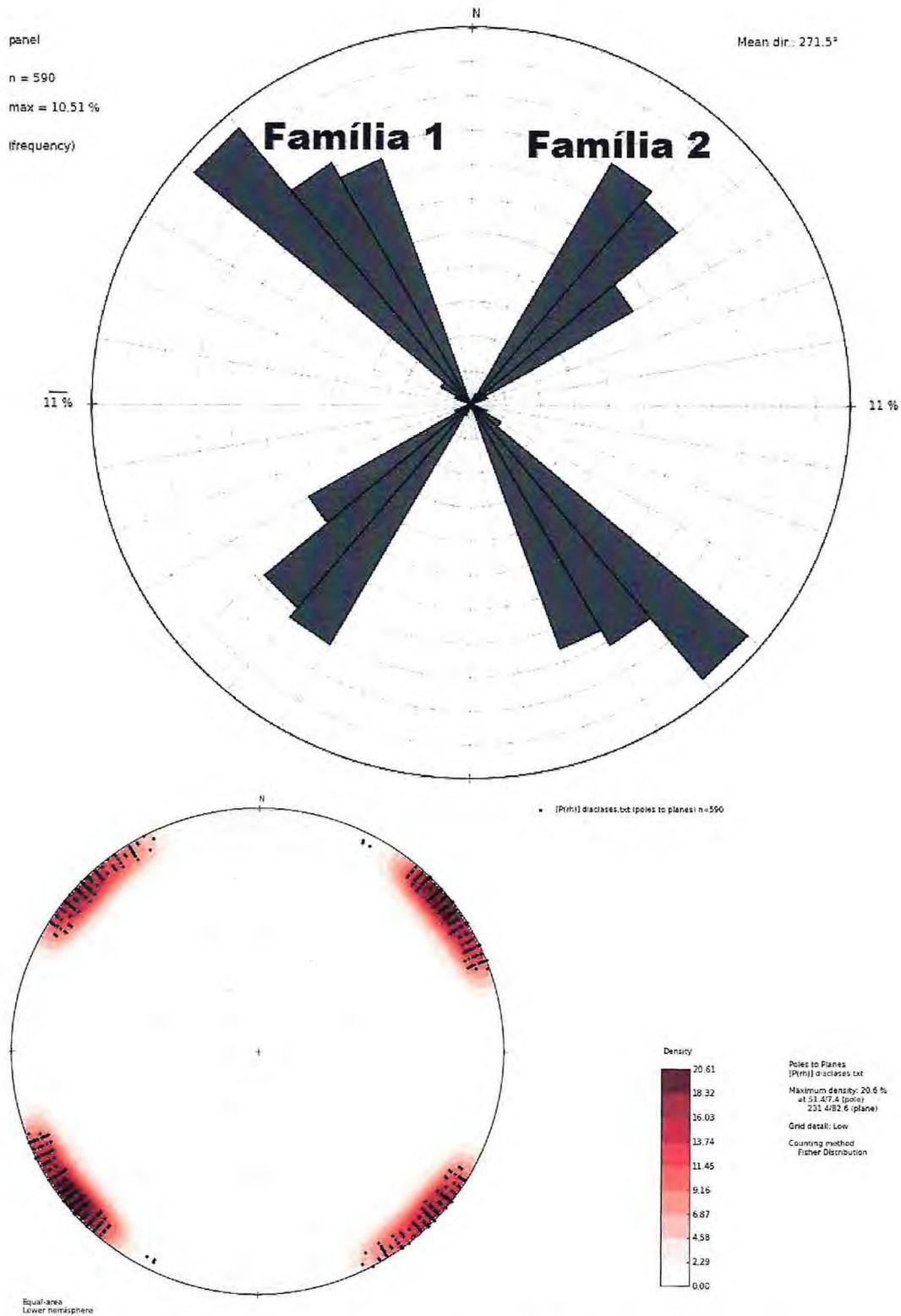


Fig. 5.6: Diagrama produzidos a partir dos dados tratados no software OpenStereo. Acima, o diagrama de rosetas e à direita, o diagrama de contorno de pólos. A partir da análise dos dados, podem ser descritas 2 famílias principais de fraturas locais.

### 5.2.3 ETAPA DE ESTUDO DE DIÁCLASES

Posteriormente, foi desenvolvida a metodologia proposta pela ISRM (1983), onde foram selecionadas 6 áreas de 36 m<sup>2</sup> (duas em cada frente de lavra). Após sua delimitação, foram coletadas as medidas de acordo com os parâmetros descritos. A tabela 5.4 exibe uma síntese dos dados coletados.

Tabela 5.4: Dados coletados das áreas selecionadas nas frentes de lavra.

ÁREA = 36m <sup>2</sup>		FAMÍLIA 1	FAMÍLIA 2
ÁREA 1	COORDENADAS	502639/9416856	
	ATTITUDE	14/90, 16/90	
	ESPAÇAMENTO (MÉDIO)	1003 mm	
	PERSISTÊNCIA (MÉDIA)	2,29 m	
	RUGOSIDADE	ONDULADA IRREGULAR	
	ABERTURA (MÉDIA)	0,05 cm	
	PERCOLAÇÃO	BAIXA	
ÁREA 2	COORDENADAS	502774/9416294	
	ATTITUDE	350/90, 351/90, 354/90	34/90, 50/90, 55/90, 80/90
	ESPAÇAMENTO (MÉDIO)	945 mm	1073 mm
	PERSISTÊNCIA (MÉDIA)	2,48 m	4,56 m
	RUGOSIDADE	PLANA IRREGULAR	PLANA LISA
	ABERTURA (MÉDIA)	0,4 cm	1 cm
	PERCOLAÇÃO	SED. MED. A GRO. C/ M.O.	SED. MED.
ÁREA 3	COORDENADAS	502690/9416956	
	ATTITUDE	265/90, 271/90	2/90, 358/90, 6/90
	ESPAÇAMENTO (MÉDIO)	1020 mm	2000 mm
	PERSISTÊNCIA (MÉDIA)	5,94 m	5,58 m
	RUGOSIDADE	PLANA LISA	PLANA LISA
	ABERTURA (MÉDIA)	3,5 cm	6,6 cm
	PERCOLAÇÃO	SED. MED. A GRO. C/ M.O.	SED. MED. A GRO. C/ M.O.
ÁREA 4	COORDENADAS	502742/9416996	
	ATTITUDE	21/90, 23/90	
	ESPAÇAMENTO (MÉDIO)	3350 mm	
	PERSISTÊNCIA (MÉDIA)	3,46 m	
	RUGOSIDADE	PLANA IRREGULAR	
	ABERTURA (MÉDIA)	0,025 cm	
	PERCOLAÇÃO	AUSENTE	
ÁREA 5	COORDENADAS	502682/9416640	
	ATTITUDE	54/90, 53/90	326/90
	ESPAÇAMENTO (MÉDIO)	4200 mm	
	PERSISTÊNCIA (MÉDIA)	6 m* (+20 a 30 m)	6 m (+15 m)
	RUGOSIDADE	PLANA LISA	PLANA IRREGULAR
	ABERTURA (MÉDIA)	0,05 cm	
	PERCOLAÇÃO	SED. MED. A GRO. C/ M.O.	SEDIMENTO FINO
ÁREA 6	COORDENADAS	502636/9416568	
	ATTITUDE	73/90, 72/90, 74/90, 72/90, 71/90	308/90, 294/90
	ESPAÇAMENTO (MÉDIO)	1200 mm	
	PERSISTÊNCIA (MÉDIA)	5,8 m* (+0,5 A 10 m)	1,30 m
	RUGOSIDADE	PLANA IRREGULAR	PLANA IRREGULAR
	ABERTURA (MÉDIA)	0,5 cm	
	PERCOLAÇÃO	SED. FINO C/ M.O.	SEDIMENTO FINO

\* : As diáclases se estendem para além da área de análise.

A partir dos dados obtidos, foi possível construir histogramas de frequência para cada variável avaliada dentro do estudo. Cada uma das seis áreas foi avaliada de acordo com 7 parâmetros, sendo o primeiro a abertura das diáclases.

De acordo com histograma da Fig. 5.4, podemos ver que a maioria das aberturas analisadas encontram-se definidas entre abertas a muito largas, sendo as diáclases abertas as mais predominantes.

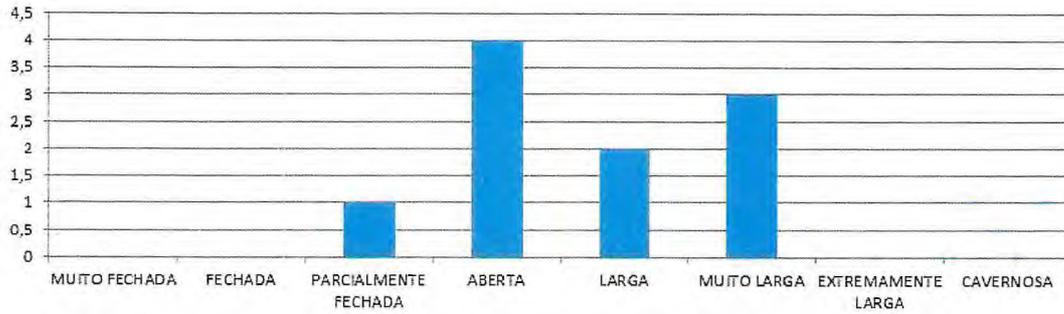


Fig. 5.4: Histograma de abertura de diáclases

No histograma da Fig. 5.5, é possível notar que a maioria das diáclases encontram-se orientadas segundo o eixo NE-SO, reforçando os dados obtidos das diáclases regionais e locais.

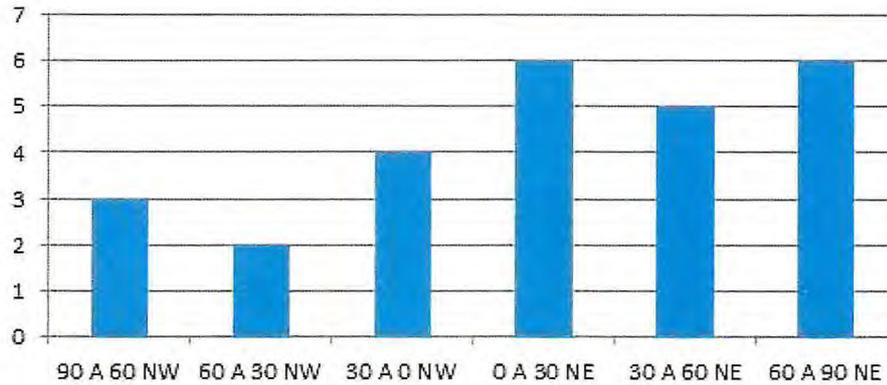


Fig. 5.5: Histograma da direção das diáclases

Na Fig. 5.6, é possível observar que as diáclases encontram-se nas categorias de afastadas, na sua maioria, a muito afastadas. Para a extração de blocos de rocha, isso é um fenômeno interessante, já que diminui o risco de extração de blocos que contenham diáclases, mas que deve ser analisado com cautela, pois dependendo de como a frente de lavra está posicionada e do tamanho dos blocos a serem extraídos, pode ser gerado um rejeito indesejado, e que poderia ser evitado.

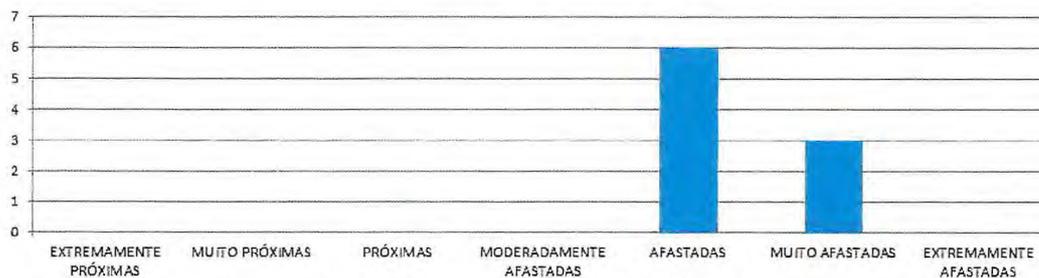


Fig. 5.6: Histograma do espaçamento das diáclases

Na Fig. 5.7 é possível ver que a percolação de flúidos nas áreas analisadas oscilam de ausente, na sua maioria, a baixa. Isso é um fato condizente com o clima local, que apresenta uma baixa pluviosidade associada a uma alta taxa de insolação, o que dificulta que estes líquidos promovam alterações significativas nas rochas da região.

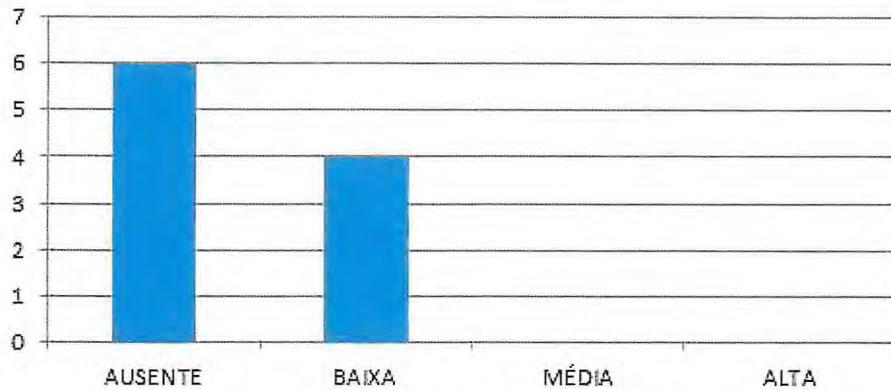


Fig. 5.7: Histograma de percolação de fluidos nas diáclases

Na Fig. 5.8 pode-se verificar que a persistência das diáclases foi considerada variando de baixa a média, no entanto, na maioria das situações, foi visto que as diáclases em alguns momentos se estendiam alguns metros para além da área de análise.

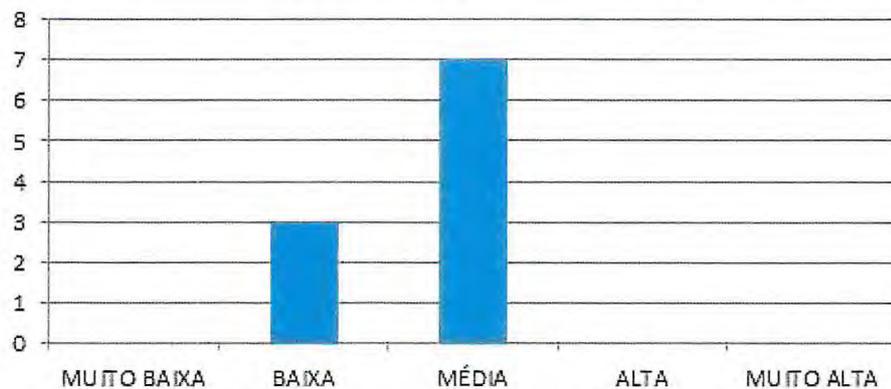


Fig. 5.8: Histograma da persistência das diáclases.

Na Fig. 5.9 temos o histograma que mostra os tipos de preenchimentos de diáclases observados em campo. A figura mostra que existe uma tendência maior para a ocorrência de sedimento de granulometria média a grossa (0,2 a 2 mm) com a presença de matéria orgânica oriunda da vegetação que costuma ocorrer em diáclases com abertura maior.

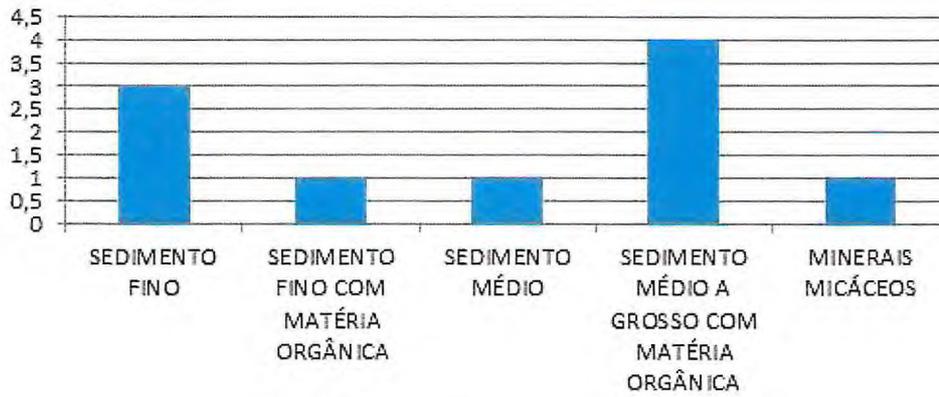


Fig. 5.9: Histograma de preenchimento de diáclases

Na Fig. 5.10 tem-se o histograma da rugosidade das diáclases da área. Foi observado que a maioria das diáclases são planas, variando entre irregulares e polidas. Esta característica está associada à homogeneidade da rocha granítica e à sua textura.

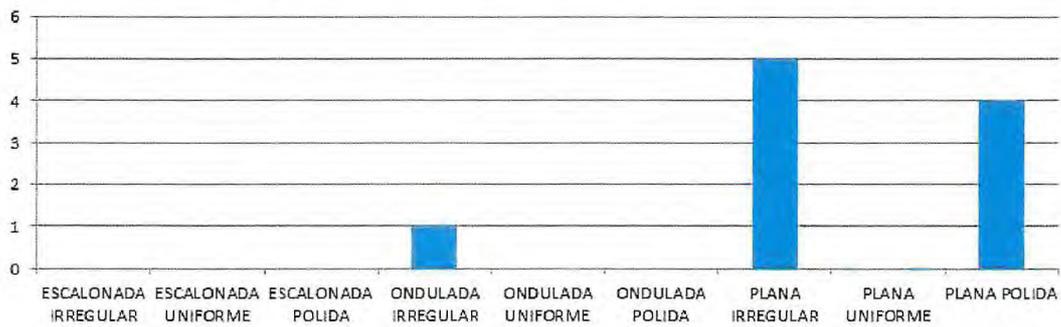


Fig. 5.10: Histograma da rugosidade das diáclases

## **CAPÍTULO VI**

## 6.GEOLOGIA ECONÔMICA

Neste capítulo, serão abordados os aspectos econômicos dos bens minerais contidos na região de estudo, que corresponde ao maciço granítico localizado na Serra do Feijão, e que é explorado na forma de rochas ornamentais, como também os pegmatitos que ocorrem em regiões adjacentes.

### 6.1 GRANITOS

O granitos é a litologia dominante na área de estudo. De acordo com a descrição petrográfica, este granito apresenta a seguinte composição mineralógica: quartzo (28%), plagioclásio (22%), feldspato potássico (21%), biotita (15%), muscovita (12%), tendo como minerais acessórios zircão, apatita, granada, silimanita e opacos (somando 2%).

Na região de investigação são encontradas algumas pedreiras onde são extraídos blocos de rocha para abastecimento do mercado nacional e internacional de rochas ornamentais, para posterior beneficiamento.

Dois tipos de granitos estão sendo explorados na área, e são denominados comercialmente de “Branco Banabuiú” e “Branco Astro”. Os dados de ensaios de caracterização tecnológica, extraídos de Lima (2006), são apresentados na Tabela 6.1:

Tabela 6.1 – Dados de caracterização tecnológica dos granitos “Branco Banabuiú” e “Branco Astro”. Adaptado de Lima (2006).

Ensaio Tecnológico	Branco Banabuiú	Branco Astro
Composição Mineralógica	KF (25%) + Qz (20%) + Plag (32%) + Biot (16%) + Musc (5 %) + Minerais Acessórios (2%)	KF (26%) + Qz (21%) + Plag (21%) + Mica (20 %)
Classificação Petrográfica	Biotita Granito	Muscovita-Biotita Granito
Massa Específica Aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	2,60	2,619
Porosidade Aparente (%)	0,56	0,42
Absorção de Água (%)	0,19	0,16
Desgaste Amsler (mm)	0,91	0,90
Resistência à Compressão Uniaxial Simples (MPa)	84,60	112,1
Resistência à Compressão Uniaxial Simples Após Gelo/Degelo (MPa)	*	101,12
Resistência à Flexão (MPa)	20,00	17,1
Resistência ao Impacto (cm)	70,00	71,3
Coefficiente de Dilatação Linear (mm/m°C x 10 <sup>3</sup> )	*	*

\*: Valores não conhecidos ou não informados

## 6.2 PEGMATITOS

Apesar de não serem observados na área de estudo, os pegmatitos serão discutidos devido a sua importância econômica (Fig. 6.1), faz-se necessário citá-los, devido a sua importância econômica e à ocorrência de corpos pegmatíticos de valor econômico considerável no distrito pegmatítico de Banabuiú e adjacências.



Foto 6.1: Pegmatito com muscovita e biotita cortando o granito. Coordenadas: 502346 N / 9417752 E

Os corpos pegmatíticos da região vêm sendo explorados a décadas, pois os mesmos são portadores de minerais de aplicação industrial e minerais gemológicos (turmalinas e água marinha). Encontram-se intrudindo todas as rochas da região, desde o embasamento até granitos neoproterozóicos. Ocorrem como veios e preenchendo discontinuidades (falhas, fraturas e foliação) ou como corpos mais expressivos com espessura e comprimento chegando a dezenas de metros. Existem também corpos que ainda não foram lavrados (Lima, 2006).

Os pegmatitos representam um dos minérios de aplicações industriais mais importantes no Estado do Ceará. Eles são os maiores produtores de minerais metálicos de tântalo, nióbio e estanho, além de minerais industriais, como KF, mica e caulim. Adicionalmente, essas rochas também são responsáveis por quase toda a produção de minerais gemológicos. Segundo Arthaud *et al.* (1998), podem ser encontrados pegmatitos tanto no Domínio Orós-Jaguaribe, como no Ceará Central. O alojamento desses corpos pegmatíticos teve forte influência de zonas de cisalhamentos, que provavelmente funcionaram como condutos de remobilização dos elementos mineralizantes (Marques & Nogueira Neto, 1992).

Podem ser citados também os pegmatitos de Bom Jesus de Baixo e Berilândia, inseridos no Bloco Orogênico Banabuiú, nas proximidades da área de estudo. Em Bom Jesus de Baixo, pegmatitos apresentam turmalinas nas cores verde e azul que são consideradas de qualidade gemológica (Marques Jr. *et al.*, 2003). Em Berilândia, os

pegmatitos apresentam crescimentos minerais acessórios de interesse econômico, como berilos industriais, água-marinhas e turmalinas (verdes, rubelitas e bicolors) (Marques *et al.*, 1988).

A distrito pegmatítico de Banabuiú apresenta mineralizações econômicas berilíferas e correspondem a bons produtores de pedras coradas, principalmente, turmalina e água-marinha. Estas ocorrências adquirem importância tanto do ponto de vista geológico, quanto econômico, pois representam fontes minerais naturais de importantes elementos químicos aplicáveis a vários processos de beneficiamento industrial. Na região, os pegmatitos apresentam granulação com variações extremas no que se refere o tamanho dos grãos. Atualmente a província pegmatítica de Banabuiú, em alguns pontos, vem sendo explorada de maneira rudimentar por garimpeiros a partir de desmonte manual e explosivos, fazendo-se o carregamento com guinchos e carros de mão. Esta forma errática de lavra em busca de minerais gemológicos atinge rapidamente profundidades perigosas, com risco de desabamentos. O fator determinante para o sucesso do trabalho está relacionado ao conhecimento da geologia e condições de infraestrutura para o desenvolvimento das frentes de lavra (Gomes, 2006).

### **6.3 ROCHAS ORNAMENTAIS**

As rochas ornamentais e de revestimentos, também designadas como pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionadas e materiais de cantaria, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados e beneficiados em formas variadas. Seus principais campos de aplicação incluem tanto a confecção de peças isoladas para decoração como esculturas, tampos, balcões e pés de mesa, quanto à confecção de lápides para arte funerária, em geral, e revestimentos internos e externos para construção civil (Vidal *et al.*, 2005).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define rochas ornamentais como material rochoso natural submetido a diferentes tipos de beneficiamento em sua superfície (polimento, apicoamento, flameamento, aparelhamento, etc.), utilizadas para exercer uma função estética em diversas áreas de aplicação (construção civil, arte funerária e outras) (Vidal *et al.*, 2005).

O termo rocha para revestimentos é definido pela ABNT como rocha natural que não foi submetida a processos de beneficiamento em sua superfície. Seus principais campos de aplicação incluem especialmente pisos, paredes e fachadas, em obras de construção civil (Vidal *et al.*, 2005).

A figura 6.1 exibe um organograma básico que mostra o processo de exploração de rochas ornamentais, que pode ser subdividido em 4 etapas distintas: pesquisa mineral, extração, beneficiamento primário e beneficiamento secundário.

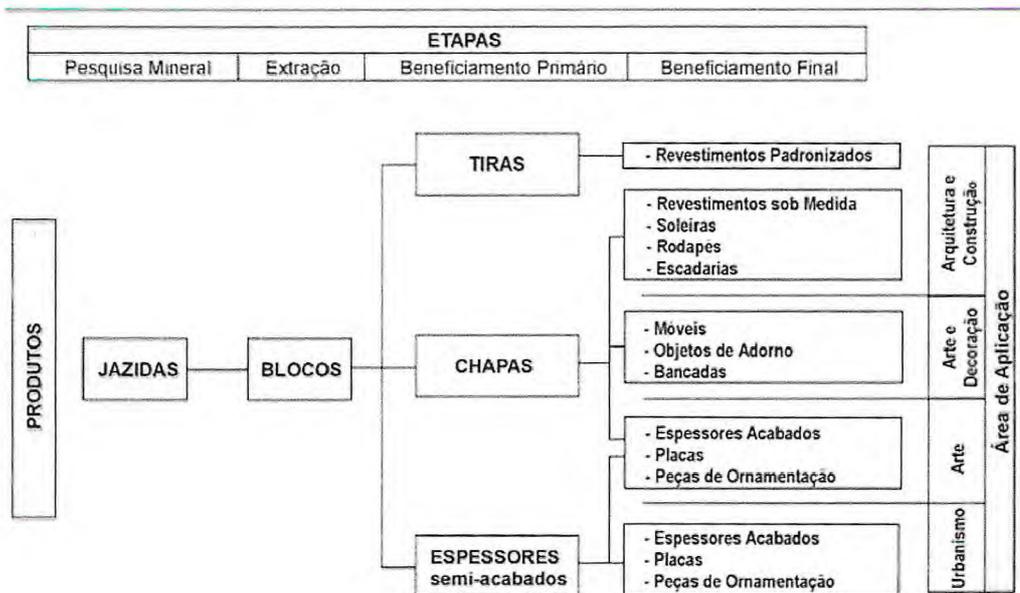


Fig. 6.1: Etapas e Principais Produtos na Indústria de Rochas Ornamentais. Extraído de Margueron & Mello (2005)

### 6.3.1 ROCHAS ORNAMENTAIS NO CEARÁ

O embasamento cristalino ocupa cerca de 75% da área do Estado do Ceará (Fig. 6.2), oferecendo condicionamento favorável à ocorrência de granitos, mármore, quartzitos, calcários, vulcânicas alcalinas e conglomerados, com características ornamentais e de revestimentos (Vidal et al., 2005).



Fig. 6.2: Esboço da distribuição de rochas sedimentares e cristalinas no estado do Ceará. Adaptado de Leite & Möbus (2000).

As rochas ornamentais e de revestimentos ocorrem distribuídas por todo o estado do Ceará excluindo as coberturas terci-quartenárias e quaternárias. A geologia do Estado do Ceará encontra-se, em diversos segmentos, em escala de reconhecimento regional (1:100.000), sobretudo no que tange ao posicionamento das unidades pré-cambrianas. Tectonicamente, os grandes traços estruturais, realçados por importantes

zonas de cisalhamento, se encontram em bom nível de entendimento. (Cavalcante et al., 2003).

Como exemplo de grande importância econômica, temos os granitóides Quixadá-Quixeramobim, que ocorrem na região central do Estado, abrangendo os municípios de Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu. Englobam granodioritos, monzonitos, granitos e dioritos, em parte gnaissificados e coexistindo em tramas migmatíticas ou intimamente associados. A grande maioria das pedreiras existentes na região é rudimentar, extraíndo esses materiais para utilização como pedras in natura nos revestimentos de muros, jardins etc. (exemplos pedreira Várzea da Onça, município de Quixadá). Registra-se, no entanto, a ocorrência do “granito” Branco Astro e/ou Branco Banabuiú como rochas ornamentais no município de Banabuiú (Vidal et al., 2005).

### 6.3.2 MERCADO

A situação do mercado de rochas ornamentais do estado do Ceará pode ser sintetizada pelas Tabelas 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6:

Tabela 6.2: Balança Comercial do Setor de Rochas Ornamentais no Ceará, no período de 2010 a 2014. Valores em US\$ FOB. Fonte: SECEX/MDIC. Adaptado de Centro Internacional de Negócios/FIEC

Ano	Exportações	Var(%)	Importações	Var(%)	Saldo
2010	14.719.049	*	1.030.161	*	13.688.888
2011	13.414.911	-8,9 ▼	1.058.877	2,8 ▲	12.356.034
2012	12.484.262	-6,9 ▼	1.204.089	13,7 ▲	11.280.173
2013	15.986.989	28,1 ▲	1.752.953	45,6 ▲	14.234.036
2014 <sup>1</sup>	12.333.029	-22,9 ▼	1.356.306	-22,6 ▼	10.976.723

(<sup>1</sup>) Valores referentes ao período de janeiro a outubro  
(\* ) Não se aplica

Tabela 6.3: Participação do Setor de Rochas Ornamentais na Balança Comercial Cearense no Período de 2010 a 2014. Valores em US\$ FOB. Fonte: SECEX/MDIC. Adaptado de Centro Internacional de Negócios/FIEC

Ano	Exportações	Part. Setor	Importações	Part. Setor	Saldo
2010	1.269.498.551	1,2%	2.169.200.797	0,0%	-899.702.246
2011	1.403.295.759	1,0%	2.400.713.462	0,0%	-997.417.703
2012	1.266.962.510	1,0%	2.864.256.611	0,0%	-1.597.294.101
2013	1.420.464.015	1,1%	3.301.740.523	0,1%	-1.881.276.508
2014 <sup>1</sup>	1.250.018.788	1,0%	2.696.073.482	0,1%	-1.446.054.694

(<sup>1</sup>) Valores referentes ao período de janeiro a outubro

Tabela 6.4: Pauta de Produtos do setor de Rochas Ornamentais no Ceará no Período de Janeiro a Outubro de 2014. Valores em US\$ FOB. Fonte: SECEX/MDIC. Adaptado de Centro Internacional de Negócios/FIEC

NCM	Descrição dos produtos	2014	2013	Var (%)
6802.23.00	Granito talhado ou serrado, de superfície plana ou lisa	6.898.374	7.060.556	2,3 ▼
2516.12.00	Granito cortado em blocos ou placas	2.677.075	1.973.279	35,7 ▲
2516.11.00	Granito em bruto ou desbastado	1.411.939	1.847.490	23,6 ▼
2506.20.00	Quartzitos, em bruto ou desbastados	860.132	1.180.081	27,1 ▼
6802.93.90	Outros granitos trabalhados de out. modo e suas obras	292.735	206.809	41,5 ▲
	Demais produtos	192.774	185.544	3,9 ▲
<b>Total Exportado pelo Ceará</b>		<b>12.333.029</b>	<b>12.453.759</b>	<b>1,0 ▼</b>
<b>Tipos de Produtos Exportados pelo Ceará</b>		<b>7</b>	<b>9</b>	<b>22,2 ▼</b>

Tabela 6.5: Principais Países-Destino das Exportações Cearenses no Setor de Rocha Ornamentais no Período de Janeiro a Outubro. Valores em US\$ FOB. Fonte: SECEX/MDIC. Adaptado de Centro Internacional de Negócios/FIEC

Países	2014	2013	Var (%)
Estados Unidos	4.975.088	5.348.734	7,0 ▼
Itália	3.670.567	3.298.868	11,3 ▲
Canadá	1.846.492	1.578.210	17,0 ▲
China	894.252	1.523.899	41,3 ▼
México	244.576	179.306	36,4 ▲
Taiwan	180.371	-	*
Demais países	521.683	524.742	0,6 ▼
<b>Total Exportado CE</b>	<b>12.333.029</b>	<b>12.453.759</b>	<b>1,0 ▼</b>
<b>Total de Países</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>0,0</b>

(-) Não houve registro

(\*) Não se aplica

Tabela 6.6: Pauta dos Estados Exportadores dos Produtos do Setor de Rocha Ornamental no Período de Janeiro a Outubro. Valores em US\$ FOB. Fonte: SECEX/MDIC. Adaptado de Centro Internacional de Negócios/FIEC

Estados	2014	2013	Var (%)
Espírito Santo	865.485.356	860.216.629	0,6 ▲
Minas Gerais	150.140.165	175.632.433	14,5 ▼
Bahia	14.057.365	12.646.751	11,2 ▲
Rio de Janeiro	12.468.337	4.232.937	194,6 ▲
<b>Ceará</b>	<b>12.333.029</b>	<b>12.453.759</b>	<b>1,0 ▼</b>
Rio Grande do Norte	7.742.512	6.016.294	28,7 ▲
Santa Catarina	6.186.246	6.758.880	8,5 ▼
Paraíba	6.014.837	5.073.032	18,6 ▲
São Paulo	3.440.702	8.605.563	60,0 ▼
Rio Grande do Sul	3.330.593	4.111.970	19,0 ▼
Paraná	1.880.527	1.859.732	1,1 ▲
Pernambuco	1.755.475	3.279.745	46,5 ▼
Piauí	939.262	882.447	6,4 ▲
Mato Grosso do Sul	152.059	146.479	3,8 ▲
Tocantins	38.616	0	*
Rondônia	33.491	195.715	82,9 ▼
Goiás	9.180	57.461	84,0 ▼
Acre	3.207	687	366,8 ▲
Pará	715	520	37,5 ▲
Distrito Federal	0	21.810	100,0 ▼
Op. Especiais <sup>1</sup>	322.314	48.654	562,5 ▲
<b>Total Exportado BR</b>	<b>1.086.333.988</b>	<b>1.102.241.498</b>	<b>1,4 ▼</b>
<b>Total de Estados</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>0,0</b>

(1): Consumo de Bordo e Mercadoria Nacionalizada

(-) Não houve registro

(\*) Não se aplica

De acordo com os dados apresentados, a exportação de rochas ornamentais no Ceará apresenta-se em queda desde 2011 (com exceção de 2013), enquanto a importação vinha em sucessivas altas, tendo um decréscimo no ano de 2014. Além disso, temos uma série de saldos negativos (exportação/importação) consecutivos no que diz respeito a balança comercial do setor, com participação de aproximadamente 1,0% (exportação) no período.

Quanto a pauta de produtos do setor, pode ser observada uma alta considerável na demanda por blocos ou placas ou em beneficiados em modos não convencionais, enquanto que os outros métodos de beneficiamento apresentaram quedas consideráveis. No que diz respeito aos principais destinos comerciais para os produtos cearenses, temos México, Canadá e Itália em alta, enquanto China, E.U.A. e demais países estão em baixa. Como estado exportador a nível nacional, o Ceará aparece em leve queda (1,0%), caindo de 4º para 5º colocado no período entre 2013 e 2014.

#### **6.4 LAVRA DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM MACIÇOS COMPACTOS**

No caso de extração em maciços rochosos, podem-se aproveitar rochas isoladas na área da pedreira (lavra por matacão), ou detonando a base de um maciço e removendo-se os blocos aproveitáveis (lavra por desabamento). Mas o método de extração em blocos mais aplicado é o de remoção de blocos da frente de lavra (Cabello et al., 2012), que é a técnica usada na área de estudo.

As observações de campo mostram que o processo de lavra que ocorria na área de estudo foi realizado sem um estudo prévio de detalhe, e sem a discussão dos planos de lavra mais adequados à situação do maciço rochoso, e durante o corte de blocos com fio diamantado, surgiam as diáclases. Este processo gerava uma perda significativa de material em forma de rejeito.

Teriam que ser levadas em conta diversas variáveis, como o padrão de fraturamento e a disposição do corpo granítico, além das técnicas de lavra e de corte mais adequadas. O que ocorria na frente de lavra é um processo de “tentativa e erro” em busca de um método de lavra eficiente, o que estava gerando amontoados de rejeito que encontram-se distribuídos pela área da mina.

As frentes de lavra em questão foram descritas e denominadas como F1, F2 e F3. A primeira foi reativada recentemente, e é onde foi observada uma lavra que parece com o desmonte em bancadas baixas (Foto 6.2), só que difere desta, pois o sentido do corte parece seguir o “acebolamento” do maciço. A segunda encontra-se inativa (Foto 6.3), e nesta não foi observada nenhuma aplicação de técnicas de desmonte em bancadas baixas. A terceira está em pleno funcionamento, e é onde foi observado o uso de fio diamantado para o corte de blocos de rocha (Foto 6.4).



Foto 6.2: Frente de lavra inativa onde não foi usada a técnica de desmonte em bancadas baixas, e foram observadas diáclases subhorizontais geradas por alívio de pressão.



Foto 6.3: Frente de lavra F2, que encontra-se desativada, onde não foi usada a técnica de desmonte em bancadas baixas, e foram observadas diáclases subhorizontais geradas por alívio de pressão.



Foto 6.4: Frente de lavra F3, que encontra-se ativa, onde a ferramenta principal usada para o corte de blocos é o fio diamantado. Notar as partes mais alteradas (em tons castanhos) da frente de lavra, que correspondem a planos de fraturas tectônicas que condicionaram a retirada de blocos no local.

Recentemente, optou-se pelo uso de uma adaptação da técnica de lavra em bancadas baixas (seguindo o “acebolamento” do maciço) em uma das frentes de lavra da região (F1), que mesmo sem ser nivelada, a extração de blocos está ocorrendo de maneira satisfatória, com a diminuição da ocorrência de diáclases. No entanto, é recomendado que seja feito um aplainamento da bancada para maximização do aproveitamento do material.

No caso, onde a extração se dá acima do nível do terreno, a recomendação é que se faça a retirada de blocos usando bancadas baixas, cuja altura corresponda à altura do bloco (Cabello et al., 2012). Esta técnica é a mais indicada pois a região é dominada por granitos majoritariamente homogêneos, favorecendo assim a uma maior recuperação. Além disso, já que não há necessidade de seleção de blocos secundários (pois o material é bastante homogêneo) o uso de bancadas altas torna-se desaconselhado, pois a possibilidade do surgimento de diáclases é maior neste caso (Cabello et al., 2012). A Fig. 6.3 ilustra o método de lavra por bancadas baixas.

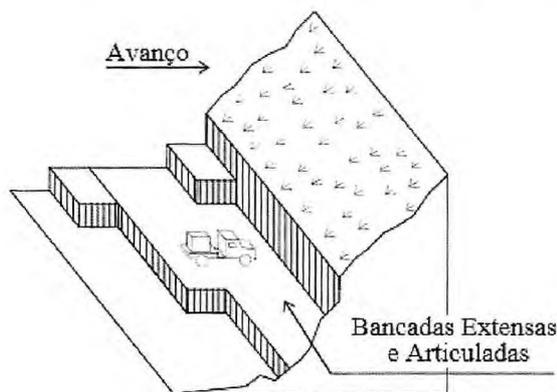


Fig. 6.3: Bloco-Diagrama exemplificando o método de desmonte por bancadas baixas . Adaptado de Cabello (2011)

Além da homogeneidade do maciço, outro fator que interfere na escolha do método é a configuração topográfica do terreno. Aclives menos acentuados tendem a ser trabalhados por bancadas baixas (Cabello et al., 2012), o que é exatamente o caso em questão. Os corpos graníticos da região normalmente estão dispostos em forma de lajedos e corpos graníticos com aclives subhorizontais. O método de extração pode variar dentro de uma mesma frente de lavra, dependendo da configuração geológica e topográfica do terreno. Daí a importância de se conhecer com exatidão o relevo e as características geológicas do terreno (Cabello et al., 2012).

## 6.5 TÉCNICAS DE CORTE

Além dos métodos escolhidos para lavra, as técnicas de corte no desmonte das rochas podem influenciar muito na geração de rejeitos e poluição ao ambiente. Existem, basicamente, dois tipos de tecnologias de corte para rochas, que são as tecnologias cíclicas e as tecnologias de corte contínuo. As tecnologias de cortes cíclicos exigem a execução de furos na rocha para o desmonte. Alguns com utilização de explosivos de

baixa velocidade de choque. Já as tecnologias de corte contínuo não necessitam perfuração (Matta, 2003). A seguir, as técnicas de corte serão brevemente descritas.

### 6.5.1 TECNOLOGIAS DE CORTE CÍCLICO

#### DIVISÃO MECÂNICA POR CUNHAS

Consiste na perfuração da rocha por diversos furos separados linearmente em espaços curtos e posterior divisão com aplicação de cunhas, que se posicionando entre linguetas de metal, efetua-se percussão manualmente com a ajuda de uma marreta, até criar fissura e partir a rocha (Foto 6.5). Esta técnica causa atraso na produção, já que pode durar muitas horas para partir determinadas rochas, diminuindo, assim, a produtividade da lavra. O custo da perfuração é também alto em razão da quantidade de furos realizados e se a prancha rochosa for de grande tamanho, esses furos correm risco de sofrer desvios reduzindo a recuperação da mina (Matta, 2003).



Foto 6.5: Execução de furos usando marleteles e cunhas metálicas (canto superior esquerdo) posicionadas em paralelo para posterior desmonte de rocha.

### 6.5.2 TECNOLOGIAS DE CORTE CONTÍNUO

#### FIO DIAMANTADO

Esta ferramenta de desmonte classifica-se entre aquelas de corte contínuo, cuja operação de desdobramento das pranchas não é interrompida até atingir o ponto de alcance final do equipamento em determinado local do maciço (Matta, 2003).

O fio diamantado é tracionado por um motor com roldanas no sistema. Ele é composto por um fio de aço de 5mm de diâmetro, sobre o qual estão fixadas pérolas diamantadas de mais ou menos 10mm de diâmetro (Fig. 6.4), responsáveis pelo corte da rocha (Foto. 6.6). A quantidade de pérola depende da finalidade do fio: se for usado para mármore serão 30 a 32 pérolas por metro de fio; já no granito são comumente

utilizadas 40 pérolas por metro de fio. A velocidade do fio diamantado é bastante superior ao do fio helicoidal, ou seja: nos travertinos 10 a 15m<sup>2</sup>/h; nos mármore 8 a 15m<sup>2</sup>/h e nos granitos 2 a 5m<sup>2</sup>/h. O consumo de água gira em torno de 500 litros/m<sup>2</sup> e a energia 7,1KWh/m<sup>2</sup>. É uma técnica satisfatória pela alta produção e pequena geração de rejeitos (Matta, 2003).



Fig. 6.4: Exemplos de fios diamantados e helicoidais. Extraído de Matta (2003)



Fig. 6.6: Processo de desmonte de rocha ornamental no sentido vertical usando fio diamantado. Extraído de Almeida (2006)

## 6.6 RECOMENDAÇÕES

Foi observado que na região de estudo o corte de blocos é feito usando tanto o fio diamantado quanto as cunhas metálicas para divisão de blocos em algumas frentes de lavra. Sobre o processo de corte para desmonte de blocos de rocha, recomenda-se que o uso de cunhas para separação de blocos seja interrompido, dando lugar a cortes somente com fio diamantado, visto que esta técnica possui baixa geração de rejeito, além de ser uma ferramenta com um bom custo/benefício.

## **CONCLUSÕES**

## 7. CONCLUSÕES

Baseado no que foi exposto nos capítulos anteriores sobre o mapeamento geológico, caracterização petrográfica, análise estrutural e técnicas de lavra, pode-se chegar às seguintes conclusões:

As unidades litoestratigráficas mapeadas na região de estudo, da base para o topo, correspondem ao embasamento gnáissico-migmatítico (Complexo Acopiara) de idade paleoproterozóica (~ 2.1 Ga); os granitos situados no período Neoproterozóico (~ 590 Ma) que interceptam o Complexo Acopiara, e podem conter enclaves do embasamento distribuídos de maneira dispersa; os corpos pegmatíticos de idade paleozóica (~ 530 Ma) que intrudem tanto as rochas do embasamento quanto o granito Banabuiú e as coberturas terci-quadernárias que estão no topo da coluna litoestratigráfica e recobrem os litotipos acima citados, com exceção dos locais com afloramentos superficiais.

O granito referido como Granito Banabuiú representa o litotipo mais abrangente na área, sendo caracterizados por uma associação equivalente entre muscovita e biotita, podendo conter ocasionalmente granada e silimanita, sendo classificado como granito do tipo S proveniente de anatexia crustal, com fonte semelhante as das rochas do Complexo Acopiara.

A caracterização petrográfica mostrou que as rochas situadas nas zonas de exploração de rochas ornamentais encontram-se em condições muito boas, visto que a maioria dos minerais encontram-se com poucas ou nenhuma alteração, além de apresentarem poucas fraturas intergranulares, o que pode gerar planos de fraquezas que podem causar o rompimento de blocos de rocha durante as atividades de extração e/ou beneficiamento.

Baseado nas informações obtidas através da análise estrutural das diáclases, foi possível definir pelo menos três famílias de fraturas ocorrendo de forma regional e duas famílias de fraturas ocorrendo de forma local. Dependendo das características locais de cada padrão de fraturamento, a diáclase pode influenciar diretamente no tamanho de bloco a ser extraído. O ideal é que o avanço da frente de lavra ocorra em sentido perpendicular ao rumo das maiores diáclases, sendo o tamanho dos blocos menor que o espaçamento entre as diáclases. Dessa forma, pode-se obter o máximo aproveitamento do material.

Quanto às técnicas de lavra, seria interessante que fosse empregada a técnica de lavra em bancadas baixas cuja altura corresponda à altura do bloco, visto que o material é bastante homogêneo. Além disso, seria interessante que o corte de blocos fosse realizado somente com fio diamantado, já que esta ferramenta é a que representa o melhor custo/benefício para o empreendimento.

Por fim, acredita-se que sendo seguidas as recomendações aqui apresentadas, quaisquer problemas referentes às altas taxas de rejeitos sejam resolvidos ou amenizados.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA A. R. Itatira- SB.24-V-B-V, escala 1:100.000: nota explicativa integrada com Quixeramobim e Boa Viagem./Afonso Rodrigues de Almeida, Clovis Vaz Parente, Michel Henry Arthaud - Ceará: UFC/CPRM, 2008.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Províncias Estruturais Brasileiras. In: 8º SIMP. GEOL. NORDESTE, Campina Grande. Atlas... Campina Grande, SBG, p. 363-391, 1977.
- ALMEIDA, S. Lavra, artesanato e mercado do esteatito de Santa Rita de Ouro Preto, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral). Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 121p. 2006
- AMARAL, W.S. 2010. Análise geoquímica, geocronológica e termobarométrica das rochas de alto grau metamórfico, adjacentes ao arco magmático de Santa Quitéria, NW da Província Borborema. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP.
- ARTHAUD, M. H. Geologia e tectônica no Domínio Ceará Central. Qualificação ao Doutorado em Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília (UNB). 270 pp. 2005.
- ARTHAUD, M. H.; ALMEIDA, A. R.; ANDRADE FILHO, J. F.; MARANHÃO, C. M. L.; NOGUEIRA NETO, J. A.; PARENTE, C. V.; SIDRIM, A. C. G.; SOUSA, J. V.; TORQUATO, J. R. A Utilização dos Critérios Rotacionais em Zonas de Cisalhamento Dúctil: O Exemplo do Complexo Granítico de Quixadá – Quixeramobim – Ceará. In: Simp. Nac. de Estudos Tectônicos. 1. Salvador. Bol. Res. P. 45-47. 1987.
- ARTHAUD, M. H.; LANDIM, D. F. Relações da seqüência metassedimentar de Quixeramobim com seu embasamento. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 16., Recife. Atas... Recife: SBG, 1955. v. 1, p. 125-128. 1995.
- ARTHAUD, M. H.; VASCONCELOS, A. M.; OLIVEIRA, F. V. C. As seqüências metassedimentares do Ceará Central. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., 1998, Belo-Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SBG, 1998b.
- ARTHAUD, M.H. Evolução neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da sedimentação à colisão continental brasileira. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasil, 2008.
- CABELLO, M. L. R. Reciclagem de resíduo gerado na extração de quartzito. Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 172p. 2011
- CABELLO, M. L. R.; PERES, A. E. C.; MARTINS, A. H.; SILVA, R. G. O.; PEREIRA, C. A. Métodos de Lavra Aplicados à Extração de Rochas Ornamentais. HOLOS - ISSN 1807-1600, Congonhas, RN, v.5, ano 28, set./out. 2012.
- CABY, R.; ARTHAUD M. H. Major Precambrian nappes of the Brazilian Belt. Ceará, Northeast Brazil. Geology, Boulder, n. 14, p. 871-874, 1986.

- CABY, R.; ARTHAUD M. H.; ARCHANJO C. J. Lithostratigraphy and petrostructural characterization of supracrustal units in the Brasiliano Belt of Northeast Brazil: geodynamic implications. *J. South Amer. Earth Sciences, Barking Essex*, n. 8, p. 235-246, 1995.
- CAMPOS, T.M.P., ANDRADE, M.H.N., VARGAS Jr., E.A. – Unsaturated colluviums over rock slide in a forest site in Rio de Janeiro. 6th International Symposium on Landslides, 1357– 1364. 1992.
- CAVALCANTE, J. C. et al. Mapa geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.000. MME/CPRM. 2003.
- CAVALCANTE, J. C.; FERREIRA, C. A. Mapa Geológico do Estado do Ceará. Escala 1/500.000, MME. CPRM/DNPM, 1983.
- CONCEIÇÃO, L. S. F. Estudo da Fracturação e Caracterização Tecnológica do Granito de Campia. Dissertação (Mestrado em Geomateriais e Recursos Geológicos) - Universidade de Aveiro. 2012.
- DELGADO I.M.; SOUZA J.D.; SILVA L.C.; SILVEIRA FILHO N.C.; SANTOS R.A.; PEDREIRA A.J.; GUIMARÃES J.T.; ANGELIM L.A.A.; VASCONCELOS A.M.; GOMES I.P.; LACERDA FILHO J.V.; VALENTE C.R.; PERROTTA M.P.; HEINECK C.A. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: L.A. Bizzi, C. SCHOBENHAUS, R.M. VIDOTTI, J.H. Gonçalves. eds. 2003. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Brasília, CPRM. p. 227-334. 2003.
- FETTER, A. H.; SANTOS, T. J. S.; VAN SCHMUS, W. R.; HACKSPACHER, P. C.; BRITO NEVES, B. B.; ARTHAUD, M. H.; NOGUEIRA NETO, J. A.; WERNICK, E. Evidence for neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of West Gondwana. *Gondwana Research, Japan*, v. 6, p. 265-273, 2003.
- FETTER, A. H.; VAN SCHMUS, W. R.; SANTOS, T. J. S.; NOGUEIRA NETO, J. A.; ARTHAUD, M. H. U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the Paleoproterozoic Supercontinent “Atlantica”. *Revista Brasileira de Geociências, São Paulo*, v. 30, n. 1, p. 102-106, 2000.
- FETTER, A.H. U–Pb and Sm–Nd Geochronological constraints on the crustal framework and geological history of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of Gondwana. Ph.D. Thesis, University of Kansas, 1999.
- Centro Internacional de Negócios/FIEC. Miniestudo setorial – Rochas Ornamentais. Outubro/2014
- GOMES, I. P. Mapeamento Geológico e Potencial Metalogênico de uma porção da Região Norte do Município de Banabuiú, Estado do Ceará. Monografia de Graduação. Universidade Federal do Ceará. 2006.

- ISRM - International Society of Rock Mechanics. Basic geotechnical description of rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 18: 85-110. 1981
- ISRM - International Society of Rock Mechanics. Métodos para descrição quantitativa de descontinuidades em maciços rochosos. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia & Comitê Brasileiro de Mecânica de Rochas. Tradução nº 12. São Paulo. 1983
- JOHNSTON, J.R., W. D. Pegmatitos Ambligonita-berilo-tantalíferos do Ceará, Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro. DNPM. FPM. Avulso 66. 43 p. 1945.
- LEITE, C.E.S.; MÖBUS, G. Estimativa do potencial instalado de água subterrânea no estado do Ceará 1991 - 1998. In: I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas, Fortaleza. 2000
- LIMA, M. N. Caracterização litogeoquímica do granito Banabuiú e seus encaixantes (Brasil) – Universidade de Aveiro, 2008. Mapeamento Geológico e Potencial Metalogenético de uma Porção Localizada no Município de Banabuiú, Nordeste do Estado do Ceará (Área II) – Fortaleza, Ceará – UFC, 2008.
- LIMA, M. N. Mapeamento geológico e potencial metalogenético de uma porção localizada no município de Banabuiú, nordeste do estado do Ceará (área II). Monografia de graduação. Universidade Federal do Ceará. 2006
- LIMA, M. N.; NOGUEIRA NETO, J. A.; AZEVEDO, M.; GARCIA, M. G. Sm-Nd TDM Ages in Pegmatites from the Quixeramobim-Solonópole Pegmatitic District, Banabuiu Region, Northeastern Brazil. *Anais GRANITIC PEGMATTTITES: THE STATE OF THE ART International Symposium*. Porto - Portugal: Universidade do Porto. v. Único. p. 54-55. 2007.
- LIMA, M. N; AZEVEDO, M.R.; NOGUEIRA NETO, J.A.; ROSA, G.M.; CORDANI, U.G. Rb-Sr and K-Ar Ages For Pegmatites From The Banabuiu Region, Borborema Province, Brazil. *Estudos Geologicos* v. 19 (2), 2009.
- LIMA, M.N.; NOGUEIRA-NETO, J.A.; AZEVEDO, M.R. & VALLE-AGUADO, B. Geologia y geocronología U-Pb Del granito de Banabuiú, Noreste de Ceará, Brasil. *Estúdios Geológicos* [em línea], manuscrito aceptado, doi:10.3989/egeol.40196.113, 2010.
- MARGUERON, C; MELLO, E. F. Estratégias Competitivas para Empresas de Rochas Ornamentais na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. ISSN 0101-9759. Vol. 28-2 /2005 p. 71-101. 2005.
- MARQUES JR, F. & NOGUEIRA NETO, J.A.. Considerações Petrogenéticas do Campo Pegmatítico de Berilândia (CE). Livro de resumos do 37º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia. 2: 53-54. 1992
- MARQUES JR, F., NOGUEIRA NETO, J.A. & NERI, T.F.O. Contribuição à Geologia do Campo Pegmatítico de Berilândia, Ceará. Livro de resumos do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. 1: 329–337. 1988

- MARQUES JÚNIOR, F.; NOGUEIRA NETO, J. A.; NERI, T. F. O.; FORTUNATO, M. L.; GOMES, I. P. Química Mineral de Turmalinas do Pegmatito Bom Jesus de Baixo, banabuiú, Ceará: Resultados Preliminares. In: XX Simpósio de Geologia do Nordeste - Fortaleza/CE, 2003, Fortaleza. XX Simpósio de Geologia do Nordeste - Fortaleza/CE. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Nordeste, 2003. v. Único. p. 57-57.
- MARQUES, J. G. Caracterização Tecnológica de Granitóides da Região de Quixadá e Quixeramobim - Ceará. Dissertação (Mestrado em Geomateriais e Recursos Geológicos) - Universidade de Aveiro. 2013
- MARTINS, G. Litogeoquímica e controles geocronológicos da Suíte Metamórfica Algodões-Choró. 218 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- MARTINS, G.; OLIVEIRA, E. P. Arcabouço litoestrutural da suíte metamórfica Algodões-Choró, Domínio Ceará Central da Província Borborema. Revista de Geologia, Fortaleza, v. 17, n. 1, p. 38-51, 2004.
- MATTA, P. M. Indústria de Rochas Ornamentais: Rejeitos x Produção Limpa. Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM/BA. Salvador. 2003
- MEHNERT, K. R. Migmatites and the origin of granitic rocks. Amsterdam – London – New York, Elsevier. 1968
- NOGUEIRA, J. F. Estrutura, Geocronologia e Alojamento dos Batólitos de Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu – Ceará Central. Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro – São Paulo, Tese de Doutorado. 140p, 2004.
- PARENTE, C. V. & ARTHAUD, M. H. O Sistema Orós-Jaguaribe no Ceará – NE do Brasil. Revista Brasileira de Geociências. Vol. 25 (4): 297–306, 1995.
- PESSOA, R. R.; ARCHANJO, C. J. Tectônica de empurrões na região de Tróia-CE. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SGB, 1984. p. 1721-1728, 1984.
- ROSA, G. M. Petrografia, química mineral, litoquímica e caracterização tecnológica de litotipos de uma área a oeste de Banabuiú-CE – UFC, 2011.
- ROSA, G. M.; LIMA, M. N.; NOGUEIRA NETO, J. A. Período de Alojamento e Relações Petrogenéticas entre Pegmatitos e Rochas Encaixantes da Região de Banabuiú-Solonópole (CE), Sub-Província Pegmatítica do Ceará. Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza – CE. Relatório Final do Projeto de Pesquisa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq. 17p. 2008.
- SIIVOLA, J.; SCHMID, R. List of Mineral Abbreviations: Recommendations by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks. Web Version. 2007.
- SILVA, L.C, ARMSTRONG, R., PIMENTEL, M. M., SCANDOLARA, J., RAMGRAB, J., WILDNER, W., ANGELIM, L. A., VASCONCELOS, A. M., RIZZOTO, G., QUADROS, M. L. E. S., SANDER, A., ROSA, A. L. Z.

Reavaliações da evolução geológica em terrenos Pré-Cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP, parte 3. Províncias Borborema, Mantiqueira Meridional e Rio Negro Jurena. Revista Brasileira de Geociências 32(4), 529-544, 2002.

TORQUATO, J. R.; SIDRIM, A. C. G.; MARANHÃO, C. M. L.; PARENTE C. V.; NOGUEIRA NETO, J. A.; ANDRADE FILHO, J. F.; SOUSA, J. V.; SOUZA, M. J. N.; ARTHAUD, M. H. & AMEIDA, A. R. Granitóides do Ceará, Região de Quixadá–Solonópole. Revista de Geologia. Vol. 2, nº 1/2. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza – CE. 143p, 1989.

VALLEJO, L.I.G.; FERRER, M.; ORTUÑO, L.; OTEO, C. (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación, Madrid; ISBN: 84-205-3104-9; pp.744;

VAN SCHUMS W.R. BRITO NEVES B.B., HACKSPACHER P.C., BABINSKY M. 1995. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, NE Brazil. J. South Amer. Earth Sci;8:267-288.

VIDAL, F.W.H.; BESSA, M.F.; LIMA, M.A.B. Avaliação de rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 30p. 1999.

VIDAL, F.W.H.; SALES, F. A. C. B.; ROBERTO, F. A. C.; SOUSA, J. F.; MATTOS, I. C. (Orgs.) Rochas e Minerais Industriais do Estado do Ceará. Fortaleza, CETEM/UECE/DNPM/FUNCAP/SENAI, 2005. 176p.IL. ISBN 85-7227-205-4

# MAPA GEOLÓGICO

## Convenções Geológicas

-  Foliação
-  Estrutural
- Coberturas Terci-Quaternárias
-  Granito
-  Embasamento Gnáissico-Migmatítico

## Convenções Cartográficas

-  Corpo d'água
- Curva de Nível Secundária
-  Curva de Nível Principal
-  Drenagens

## ARTICULAÇÃO DA FOLHA

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 2010 E  
CONVERGÊNCIA MERIDIANA  
DO CENTRO À FOLHA



A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA  
CRESCERÁ 3,3\" data-bbox="231 586 333 601"/>

Quixadá	Itapiúna	Bonhu
Quixera- mobim	<b>Banabuiú</b>	Limoeiro do Norte
Senador Pompeu	Jagua- retama	Iracema

## ESCALA GRÁFICA

1:15.000



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
Origem da quilometragem UTM: equador e meridiano central 39° W Gr.  
Acréscidas as constantes: 10.000 Km e 500 Km, respectivamente.  
Datum Horizontal: WGS 84



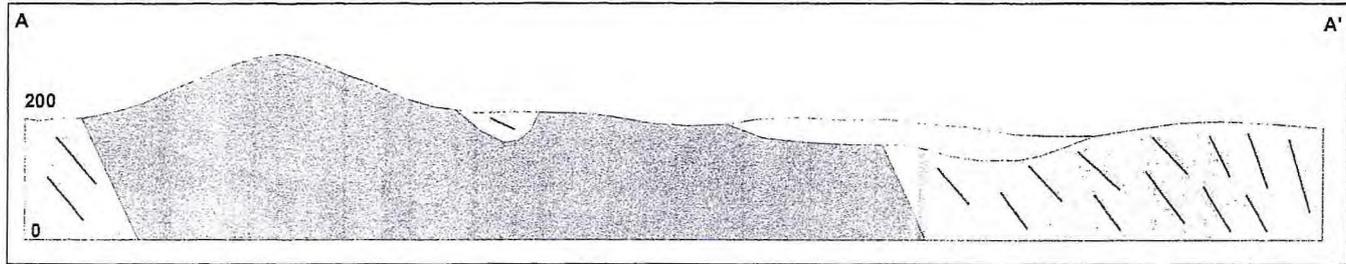
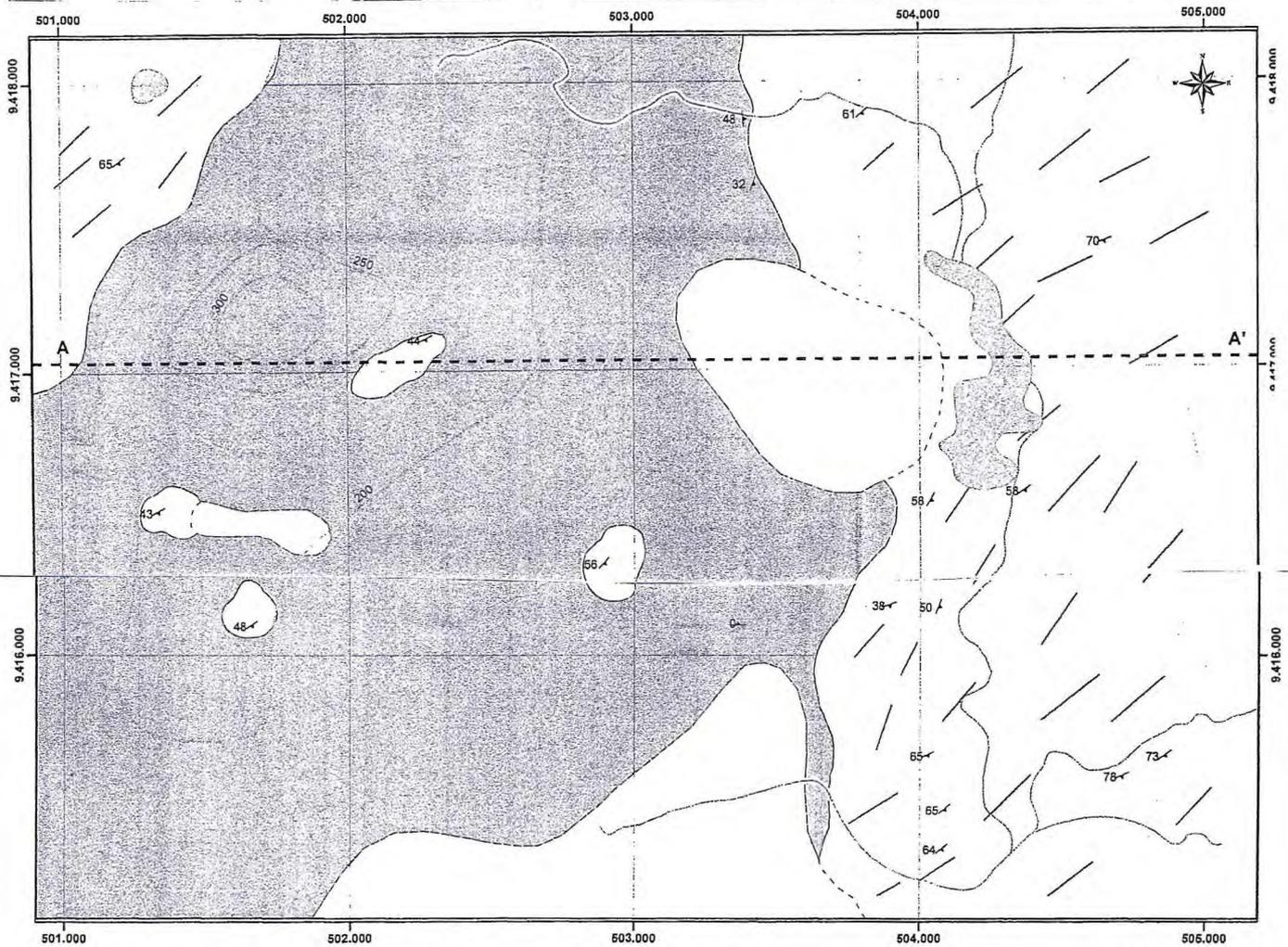
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



**Discente: Allison de Oliveira Maia**  
**Orientador: Dr. José de Araújo Nogueira Neto**

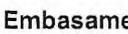
**Mapeamento Geológico e Análise Estrutural de uma  
área de extração de Rocha Ornamental a Noroeste do  
Município de Banabuiú, Ceará**

Fortaleza - CE  
Abril - 2015



# MAPA DE PONTOS

## Convenções Cartográficas

-  Área
-  Corpo d'água
-  Curva de Nível Secundária
-  Curva de Nível Principal
-  Drenagens
-  Coberturas
-  Granito
-  Embasamento Gnáissico-Migmatítico
-  Contatos

## ARTICULAÇÃO DA FOLHA

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 2010 E  
CONVERGÊNCIA MERIDIANA  
DO CENTRO À FOLHA

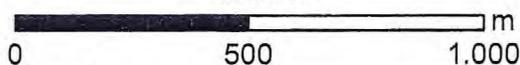


A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA  
CRISTALINA ANUALMENTE

Quixadá	Itapiúna	Bonhu
Quixera- mobim	<b>Banabuiú</b>	Limoelro do Norte
Senador Pompeu	Jagua- retama	Iracema

## ESCALA GRÁFICA

1:15.000



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
Origem da quilometragem UTM: equador e meridiano central 39° W Gr.  
Acréscidas as constantes: 10.000 Km e 500 Km, respectivamente.  
Datum Horizontal: WGS 84



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



**Discente: Allison de Oliveira Maia**  
**Orientador: Dr. José de Araújo Nogueira Neto**

**Mapeamento Geológico e Análise Estrutural de uma  
área de extração de Rocha Ornamental a Noroeste do  
Município de Banabuiú, Ceará**

Fortaleza - CE  
Abril - 2015

