



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

ANA FLÁVIA DA CONCEIÇÃO CAVALCANTE

NOVAS CONTRIBUIÇÕES SOBRE A GEOLOGIA DA REGIÃO DE ITATAIA (CE)

FORTALEZA

2016

ANA FLÁVIA DA CONCEIÇÃO CAVALCANTE

NOVAS CONTRIBUIÇÕES SOBRE A GEOLOGIA DA REGIÃO DE ITATAIA (CE)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do grau de bacharel em Geologia.

Orientador: Professor Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo.

FORTALEZA

2016

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)

- C364n Cavalcante, Ana Flávia da Conceição.
Novas contribuições sobre a geologia da região de Itataia (CE) / Ana Flávia da Conceição Cavalcante. –
2019.
99 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Geologia, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo.
1. Ceará Centra. 2. Itataia. 3. Urânio. 4. Fosfato. I. Título.

CDD 551

À Deus, família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo, pela orientação ao longo da elaboração deste trabalho, pela imensa paciência e pelos ensinamentos gastronômicos durante as estadias em Itataia, muito obrigada.

Agradeço ao departamento de geologia da UFC e aos mestres que tanto me inspiraram e me ensinaram: Prof. Dr. Clóvis Vaz Parente, Prof. Dr. Tereza Falcão, Prof. Dr. Afonso Rodrigues de Almeida, Prof. Dr. Sebastián Gonzales, Prof. Dr. Cristiano Magini e aos demais, toda a minha gratidão.

À CPRM (REFO), por todos os dados e materiais concedidos, que foram indispensáveis em cada etapa deste trabalho, realçando a figura da geóloga Ms. Iaponira Paiva Gomes, pelo auxílio no processo de descrições micropetrográficas.

Às Indústrias Nucleares do Brasil (INB), em Fortaleza, representada pelos geólogos José Roberto de Alcântara e Silva e Ana Angélica, por todo o suporte a mim prestado; sendo esse agradecimento extensivo à empresa Galvani pela bolsa de iniciação científica concedida através do projeto “Fases de carstificação e controle estrutural das mineralizações fósforo-uraníferas de Itataia”.

Um agradecimento especial aos amigos que fiz durante todo o curso, aqueles que foram e sempre serão como parte da minha família e que foram essenciais ao longo de todo o meu “caminho geológico” (vocês sabem quem são!), em especial à amiga, parceira em todos os momentos e futura grande geóloga, Jaqueline Mesquita, você é incrível, pode acreditar. Muito obrigada a todos por tudo, sempre.

Minha eterna gratidão à minha família, irmãos e pais, que são a parte mais importante da minha vida e que com certeza fizeram da minha jornada muito mais especial, obrigada a todos por todo amor e apoio.

E um agradecimento mais que especial àquele que me fez escolher essa profissão, principalmente pelo amor que sempre demonstrou pelas ciências geológicas, ao mestre, melhor amigo e pai, Geólogo José Carvalho Cavalcante, obrigada por cada conselho, cada ensinamento, cada palavra dita, sem você nada disso seria possível, sem você nada seria o mesmo, te amo e obrigada por tudo.

“O sucesso nasce do querer, da determinação, da persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar.

RESUMO

A área de estudo corresponde a um pequeno segmento do Domínio Ceará Central da Subprovíncia Borborema Setentrional, situado a SE do município de Santa Quitéria (CE), Nordeste do Brasil. O quadro litoestratigráfico local é representado, quase literalmente, pelo Grupo Itataia o qual tem sido definido, da base para o topo, pela Formação Serra do Céu (predomínio de granada-biotita paragneisses, mais ou menos sillimaníticos e geralmente com baixa porcentagem de leucossomas, encerrando esparsas lentes de rochas calcissilicáticas/escarnítica); Formação Laranjeiras (sobreposta e gradacional a anterior, encontra-se constituída de quartzitos com ou sem muscovita e feldspatos); Formação Barrigas composta de paragneisses migmatíticos similares ao da primeira formação e com maior frequência de rochas calcissilicáticas/escarníticas, mostrando-se interdigitada a Formação Alcantil (mármore e rochas calcissilicáticas). Esta Formação Alcantil é a mais relevante, em termos econômicos, por encerrar grandes jazimentos de mármore calcífero e de minerais fosfáticos uraníferos. O minério fósforo-uranífero, colofanito, apresenta-se em corpos maciços, hospedados nos metacarbonatos, por vezes com hábito botroidal, além daquelas ocorrências na forma de veios, em *stockwork* e como colofana disseminada em brechas. Fora do domínio dos mármore o colofanito é encontrado inserido nos paragneisses da Formação Barrigas. Tratamento estrutural, utilizando-se de dados de superfície e subsuperfície, revela um marcante condicionamento da distribuição do minério ao tipo litológico (mármore + calcissilicática) e aos sistemas de fraturas/falhas, principalmente aqueles em torno de E-W e NW, com superfícies de mergulhos altos a subverticais. Regionalmente, os diversos corpos mineralizados mostram, em superfície, um condicionamento a essa direção E-W. Análises de colofanito, por Difração de Raio-X (DRX), registraram ora a coexistência e ora não da fluorapatita com a hidroxiapatita, apresentando-se o tipo formado unicamente pela fluorapatita, associada ao quartzo, com manchas pretas e tendo U_3O_8 em sua composição. Noutro tipo a fluorapatita, associada à calcita, ocorre como pequenas lentes encaixadas em mármore com espeleotemas. Por fim, dados de FRX de algumas amostras de colofanitos uraníferos revelaram composições químicas com as presenças de óxidos de Rb, Sr., Y, Zr, Nb, Mo, Ag e Cd e outros onde, além destes, encerram óxidos de In, Sn e Th. Enquanto isto, o Ni, Zn e As só foram registrados em variedades sem óxido de urânio.

Palavras-chave: Ceará Central. Itataia. Urânio. Fosfato.

ABSTRACT

The study area corresponds to a small segment of the Ceará Central Domain of the Northern Borborema Subprovince, situated in the southeast of Santa Quitéria county (Ceará state), Northeastern Brazil. The lithostratigraphy of this area is represented, almost literally, by the Itataia Group which has been defined, from the base to the top, by the Serra do Céu Formation (predominance of garnet-biotite paragneisses, more or less sillimanitic and generally with a low percentage of leucosomes, enclosing scattered lenses of calc-silicatic rocks ou skarns); Laranjeiras Formation (overlapped and gradational the previous one, is constituted of quartzites with or without muscovite and feldspars); Barrigas Formation composed of migmatitic paragneisses similar to the first formation and with a higher frequency of calc-silicatic rocks ou skarns, showing the Alcantil Formation (marbles and calc-silicatic rocks) interdigitated. This Alcantil Formation is the most economically relevant for closing large deposits of calciferous marble and uraniferous phosphate minerals. The phosphorus-uraniferous ore, colophane, occurs in massive bodies, hosted in metacarbonates, sometimes with botryoidal habit, besides those occurrences in the form of veins, in stockwork and as colophane disseminated in breccias. Outside the domain of marbles the colophanite is found inserted in the paragneisses of the Barrigas Formation. Structural handling, using surface and subsurface data, reveals a clear conditioning of the ore distribution to the lithologic type (marble + calcissilicatic) and fracture / failure systems, mainly those around of EW and NW, with high to sub-vertical dip surfaces. Regionally, the various mineralized bodies show, on the surface, a conditioning to that E-W direction. Colophanite analysis by X-ray diffraction (XRD) recorded coexistence and not now of fluorapatite with hydroxyapatite, presenting the type formed solely by fluorapatite, associated with quartz, with black spots and having U_3O_8 in its composition . In another type fluorapatite, associated with calcite, occurs as small lenses embedded in marbles with speleothems. Finally, FRX data from some uraniferous colophanite samples revealed chemical compositions with the presence of oxides of Rb, Mr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag and Cd and others where, in addition, they contain oxides of In, Sn and Th. The Ni, Zn and As were only recorded in varieties without uranium oxide.

Keywords: Ceará Central. Itataia. Phosphate. Uranium.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. OBJETIVOS GERAIS	2
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.2. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E ACESSO	2
1.3. MATERIAIS E MÉTODOS	4
1.4. ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS	5
1.5. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	5
2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	8
2.1. PROVÍNCIA BORBOREMA	8
3. CONTEXTO GEOLÓGICO ESPECÍFICO	10
3.1. DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL	10
3.1.2. COMPLEXO CEARÁ	12
4. GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO	16
4.1. ESTRATIGRAFIA E PETROGRAFIA	16
4.1.1. "GRUPO" ITATAIA (MESO?-NEOPROTEROZÓICO).....	16
4.1.1.1. "FORMAÇÃO" SERRA DO CÉU	16
4.1.1.2. "FORMAÇÃO" LARANJEIRAS	20
4.1.1.3. "FORMAÇÃO" BARRIGAS	21
4.1.1.4. "FORMAÇÃO" ALCANTIL	27
4.1.2. LEUCOGRANITÓIDES (NEOPROTEROZÓICO-EOPALEOZÓICO?)	31
4.1.3. EPISIENITOS	35
4.1.4. DIQUES BÁSICOS (MESOZÓICO)	36

4.1.5. COBERTURAS ALUVIAIS E COLÚVIO-ALUVIAIS (HOLOCENO)	37
4.1.6. TUFAS (CENOZÓICO)	38
4.2. GEOLOGIA ESTRUTURAL	39
4.3. METAMORFISMO	49
5. A MINERALIZAÇÃO FÓSFORO-URANÍFERA DE ITATAIA	52
6. EVOLUÇÃO GEOLÓGICA	78
7. CONCLUSÕES	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS	
ANEXO 1: MAPA GEOLÓGICO	
ANEXO 2: MAPA DE PONTOS	

1. INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um elemento químico pertencente ao grupo dos metalóides, sendo parte integrante do grupo V na tabela periódica, constituindo um dos elementos mais abundantes no globo terrestre, principalmente na forma de sais (fosfatos). Esse elemento é de extrema importância no ciclo reprodutivo dos vegetais, além de ser também indispensável em organismos animais. Contudo, é na agricultura que tem seu papel de maior destaque, onde tem como sua principal aplicação a produção de fertilizantes, tornando-se alvo de intensas pesquisas visando sua exploração.

Por sua vez, o urânio (U), fazendo parte dos elementos químicos considerados radioativos, do grupo dos actínídeos, pode ocorrer na natureza de forma isolada ou em compostos, sendo bastante utilizado na indústria bélica e, também, como combustível em usinas nucleares para a produção de energia elétrica.

Com foco na Jazida de Itataia, esses elementos (P-U) ocorrem num tipo litológico nomeado de colofanito (Angeiras & Netto, 1977); termo criado para designar rochas constituídas de material essencialmente fosfático e que exibem coloração marrom-avermelhada. O mesmo podendo revelar, em escala mesoscópica, grafita e manchas esbranquiçadas caracterizando alteração de feldspatos.

Essa jazida de Itataia foi descoberta no ano de 1976 pela NUCLEBRÁS (hoje INB), revelando-se no maior depósito de urânio (U) físsil do Brasil, cuja importância econômica agrega o seu potencial de ser a maior reserva de fosfato desse país. Além disto, destacam-se, como insumo mineral de importante interesse econômico, as grandes reservas de mármore.

Por tudo isto, destaca-se a importância de contínuos estudos voltados à geologia do minério fósforo-uranífero de Itataia, visando uma melhor compreensão sobre o histórico de sua formação, morfologia, condicionamento estrutural, geocronologia e outros aspectos inerentes. Com este pensamento, o presente trabalho busca revisitar alguns dados bibliográficos e agregar novas informações sobre a estratigrafia, petrografia, geologia estrutural dessa jazida e áreas próximas, acrescidas de determinações geoquímicas de corpos mineralizados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

O presente estudo tem como objetivos gerais direcionados a uma análise de dados bibliográficos relacionados à Jazida Fósforo-Uranífera de Itataia, acrescidos de novas informações de campo e laboratoriais sobre essa jazida e áreas próximas inseridas no Domínio Ceará Central da Sub-província Borborema Setentrional (**Fig.1**), envolvendo uma porção do SE do Município de Santa Quitéria, além de uma pequena fração do extremo SW do Município de Canindé.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para este item, assinala-se a execução de etapas de campo com o objetivo clássico de mapeamento geológico (descrição e amostragem de rochas aflorantes, incluindo elementos de estratigrafia, petrografia, petrologia, geologia estrutural e de geologia econômica x metalogenia), análises micropetrográficas e químicas de amostras coletadas e confecção de um mapa geológico, onde compatibiliza-se os novos dados com aqueles pré-existentes.

Assim, a síntese dos objetivos específicos é adicionar novas informações para uma melhor compreensão sobre o arranjo estrutural da área, com ênfase na Jazida de Itataia e cercanias, adicionadas à composição do minério fósforo-uranífero. Ao mesmo tempo, adicionar informações sobre a ocorrência de fosfatos formados em condições superficiais, envolvendo amostragem ao longo de estruturas e segundo perfil intempérico em trincheiras situadas no Serrote da Igreja e Serra do Canudo.

1.2 Localização Geográfica e Acesso

A área trabalhada, onde se situa a Jazida de Itataia, envolve terrenos SE e SW, respectivamente, dos municípios de Santa Quitéria (dominante) e Canindé, da região centro-norte do Estado do Ceará, nordeste do Brasil (**Fig.1**). Está localizada a aproximadamente 170 km da capital Fortaleza e a uma distância aproximada de 15 km do centro da cidade de Itatira (**Fig. 1**).

Tabela 1. Coordenadas UTM do polígono referentes a área de estudo.

Vértices	Coordenadas
1	417500/9498500
2	417500/9495000
3	412500/9498500
4	412500/9495000

A principal via de acesso para a área, partindo-se de Fortaleza, é a BR-020. Desta, podendo-se acessar a área tanto a partir do nordeste de Madalena, pela CE-366 (sentido à Faz. Itataia; Fig. 1), como a partir de Canindé, via CE-257 e desta seguindo-se no sentido à cidade de Itatira (Fig.1) além do trajeto que passa na cidade de Santa Quitéria.

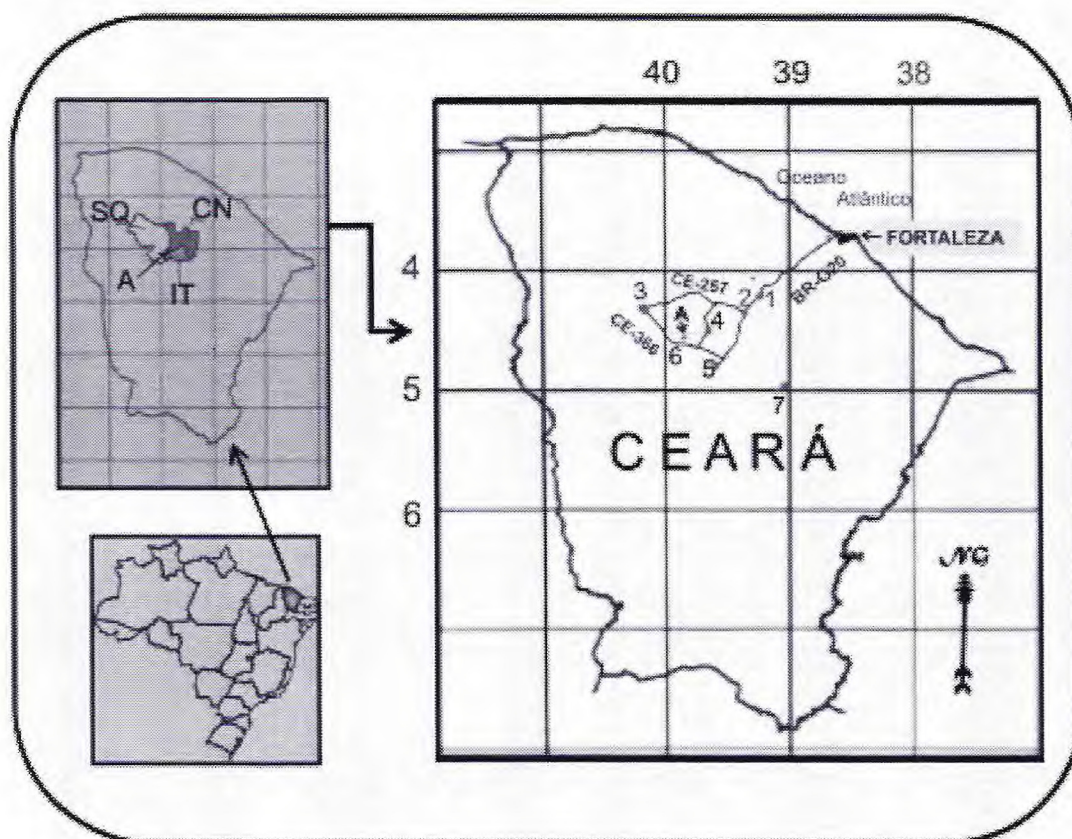


Figura 1. Principais vias de acesso a área estudada (A), tendo como encarte: a – Localização do Estado de Ceará no mapa dos estados brasileiros; b – Localização da área envolvendo terrenos dos municípios de Santa Quitéria (dominante) e Canindé (pequena fração), estando às proximidades do limite com o município de Itatira. Cidades: 1 – Caridade; 2 – Canindé; 3 – Santa Quitéria; 4 – Itatira; 5 – Madalena; 7 – Quixadá. Fazenda: 6 – Itataia.

1.3 Materiais e Métodos

A realização deste trabalho envolveu a execução de três etapas básicas: etapa pré-campo, etapa de campo e, por fim, etapa pós-campo.

A) etapa pré-campo incluiu, inicialmente, na interpretação de fotos aéreas adquiridas na biblioteca da CPRM, relativas as folhas Itatira e Itaperuaba (escala 1:100.000), além de imagem disponível no *Google Earth*. Em seguida, foram elaborados mapas de localização e acesso, além da aquisição de cópia de um mapa geológico de propriedade da INB (Indústrias Nucleares do Brasil), com vistas a um melhor planejamento e execução de etapas posteriores. Para a elaboração dos mapas usados no campo, foram utilizados os softwares *Global Mapper 8*, *ArcGis 10.1* e *CorelDraw X7*.

Nessa etapa também foi realizada uma revisão bibliográfica referente aos aspectos correspondentes à geologia regional da área, dando enfoque ao Domínio Ceará Central (p.ex. Cavalcante, 2003; Arthaud, 2007; Amaral, 2007), além de trabalhos detalhados voltados a geologia da região de Itataia (p.ex. ; Silva, 2003; Cavalcanti *et al.*, 2013).

B) As etapas de campo ocorreram em três momentos diferentes, uma primeira etapa de reconhecimento entre os dias 28 e 30 de Outubro de 2015, posteriormente nos dias 09 a 13 de Maio de 2016 e por último, entre os dias 14 a 17 de junho de 2016, todas envolvendo a descrição dos afloramentos, em termos mesopetrográficos, estruturais (uso da bússola *Clar*) e de mineralizações, sempre acompanhadas por registros fotográficos, além de coleta de amostras para posteriores análises químicas e petrográficas. Em todas as etapas procurou-se realizar uma amostragem com ênfase nos fosfatos formados em condições superficiais.

C) Na etapa pós-campo foram desenvolvidas a interpretação e consolidação dos dados adquiridos em campo e em laboratório, que, juntamente com as informações bibliográficas, resultaram no presente relatório, tendo como anexos um mapa geológico na escala 1:20.000 (Anexo I) e um mapa de afloramentos/pontos (Anexo II). As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Raio-X do Departamento de Física da UFC, onde foram submetidas aos métodos de difração de raio-x e fluorescência de raio-x em um total de 10 amostras.

1.4 Aspectos Socioeconômicos

A área situa-se na chamada Microrregião de Canindé, onde as principais atividades que embasam a economia são essencialmente agropastoris, entre as mais evidentes estão a pecuária de corte, a lavoura de algodão e a cultura de subsistência do milho, feijão, mandioca e leguminosas.

Mesmo estando inserida, em maior parte, no Município de Santa Quitéria, as relações socioeconômicas se processam, principalmente, com a cidade de Itatira e parte de seus distritos, como é o caso de Lagoa do Mato, que se destaca pela sua importância econômica (por isto, é usualmente chamado de “sede municipal”). Um dos principais atrativos desse distrito é a festa de Nossa Senhora do Carmo, sua padroeira, bem como a festa do Menino Deus realizada em novembro e os festejos juninos; eventos que atraem turistas em diferentes períodos ao longo ano, movimentando a economia local.

A região, mesmo com algum desenvolvimento nas últimas décadas, ainda padece de um baixo índice de desenvolvimento humano (IDH), tendo grande parte da população vivendo às custas do INSS e do Bolsa Família. Assim, parte dos habitantes e, principalmente, os gestores municipais vivem na expectativa de melhorias a partir do momento em que se inicie a operação da “Mina de Itataia”.

1.5 Aspectos Fisiográficos

A área envolvida no presente trabalho está situada na região denominada Polígono das Secas, que engloba, além do Ceará, outros estados do nordeste brasileiro, além do norte de Minas Gerais, sendo caracterizada pelo elevado índice de evaporação e evapotranspiração ao longo do ano, além de temperatura média anual geralmente acima de 29°C.

O clima vigente na região de Itataia é classificado como tropical quente semi-árido, apresentando pluviometria média de 650 mm, bem definida na região por chuvas concentradas no período de janeiro a abril.

Localizada em região que engloba formas de relevo da Depressão Sertaneja e dos Maciços Residuais, tem suas altitudes máximas entre 900 e 1.100 metros, como aquelas da Serra do Céu (norte da Jazida de Itataia; Fig.2) e terrenos próximos. Na área, como

elevações de máximos altimétricos inferiores (600-800m), destacam-se o Serrote Verde ou da Igreja e a Serra do Canudo.

De acordo com a SUDENE (1973), os tipos de solos que predominam regionalmente são: bruno não-calcico, litólicos, planossolos solódicos, solonetz solodizados e podzólicos vermelho amarelo. É importante ressaltar, que localmente, na área da Jazida de Itataia, ocorrem, preferencialmente, os solos: bruno não-calcico, planossolos, cambissolos, mostrando associações de solos litólicos e podzólicos

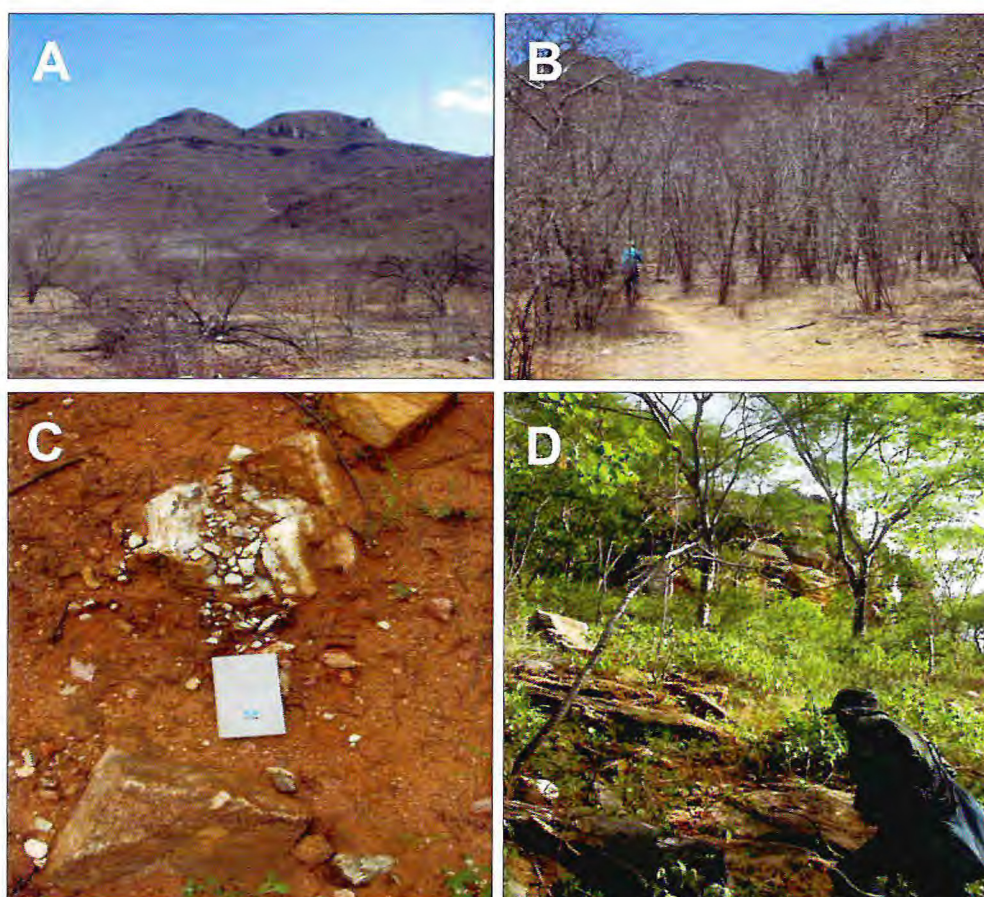


Figura 2. **A** - Visão de parte da vertente íngreme meridional da Serra do Céu, voltada no sentido sul, tendo em primeiro plano uma região baixa com vegetação de caatinga degradada em período de estiagem profunda (maio/2016); **B** – Aspectos da mesma vegetação de A, numa porção com maior densidade árvores quase literalmente desprovidas de folhas; **C** – Variedade de solo raso, típico da área, marcado por uma associação areno-argilosa com fragmentos de rochas de diversas dimensões; **D** - Vegetação em período úmido.

vermelho-amarelo eutrófico de baixa permeabilidade. São solos que exibem características em comum, como a pequena espessura, a textura arenosa dos horizontes superficiais e areno-argilosa ou argilosa nos horizontes sotopostos, também a eventual ocorrência de fragmentos de rocha, entre outros aspectos.

No que se refere à vegetação predominante na região, é possível destacar as espécies da caatinga hiperxerófila, assim como os espécimes arbóreos, como o pau-branco, o juazeiro, a oitica, o pau-d'arco, a aroeira e o jatobá.

De acordo com um mapeamento fitogeográfico realizado através de um convênio entre o DNPM/RADAMBRASIL, a serviço da NUCLEBRÁS, três sub-regiões fitoecológicas foram reconhecidas, como sejam: estepe tropical (caatinga), floresta tropical (floresta ombrófila aberta tropical e floresta estacional semi-decidual tropical) e áreas antrópicas.

Quanto à hidrografia, os cursos d'água da região, tal como o Córrego Guaribas, que interessa a área estudada, pertencem a Sub-bacia do Rio Groaíras da Bacia do Rio Acaraú. Ordinariamente, são cursos d'água intermitentes.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1. Província Borborema

Considerada parte integrante do grande sistema orogênico neoproterozóico Brasileiro/Pan-Africano e localizada na porção Nordeste do Brasil, essa província (Fig.3) é uma região que envolve, predominantemente, rochas de idades pré-cambrianas, abrangendo uma área de aproximadamente 450.000km², englobando os estados do Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), além de parte de Sergipe (SE), nordeste da Bahia (BA) e sudeste do Piauí (PI). A mesma tem sido alvo de vastas pesquisas envolvendo seu contexto geotectônico, estrutural, petrológico/ petrográfico, geocronológico e de geologia econômica.

A sua configuração estrutural encontra-se relacionada, principalmente, a efeitos da colisão continental entre os crátons São Luís-Oeste África e São Francisco-Congo, em tempos neoproterozóicos.

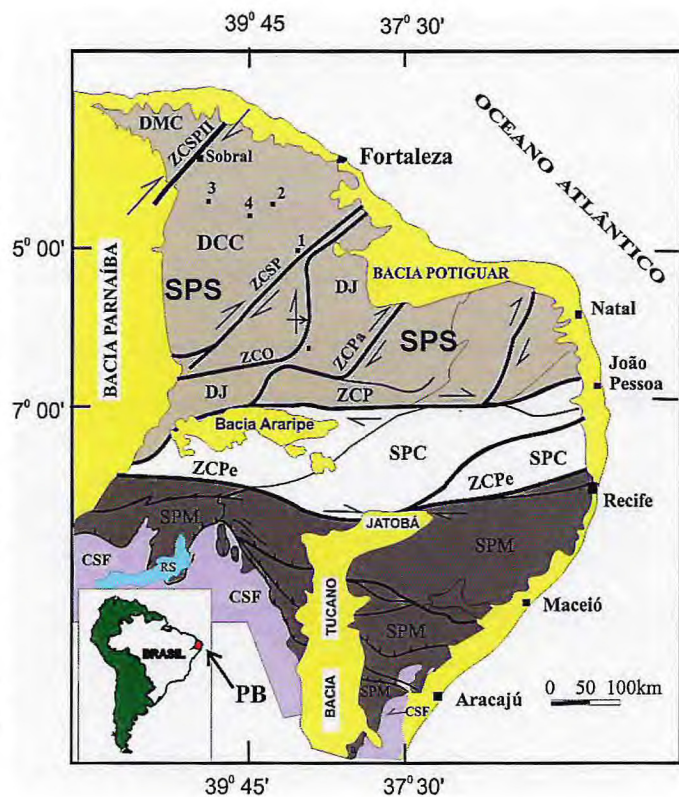
A evolução dessa Província Borborema (PB), segundo Brito Neves *et al.* (2000), ocorreu a partir de aglutinações de massas continentais e suas posteriores rupturas, com intensa atuação de orogêneses como a Transamazônica/Eburniana (Paleoproterozóico) que ao final gerou o Supercontinente Atlântica, Cariris-Velho* (Mesoproterozóico) que teve como resultado a formação do Supercontinente Rodínia e, por fim, a Orogênese Brasileira/Pan-Africana, que ocorreu no final do Neoproterozóico (550-660 Ma), provocando a formação do Supercontinente Gondwana Ocidental. A posterior (Paleozóico/Mesozóico) fragmentação deste supercontinente com a abertura do Oceano Atlântico Sul, separando os continentes Sul-Americano e Africano, foi responsável pelo posicionamento da Província Borborema no Continente Sul-Americano.

Quanto ao seu arcabouço tectônico, a Província é dividida em três grandes blocos, a Subprovíncia Setentrional (Fig. 3), a norte do Lineamento Patos, a Subprovíncia Central

* A ocorrência ou não dessa Orogênese Cariris-Velho constitui-se, ainda, em um tema a procura de novos e melhores esclarecimentos. Sobre isto, Brito Neves, Fuck e Pimentel (2014) descrevem, se referindo aos terrenos do Toniano sotopostos aos edifícios orogênicos do Brasileiro: "Estes terrenos (1000 – 900 Ma) e sua relação tanto com os processos da fusão de Rodínia como com os de aglutinação de Gondwana constituem um problema em aberto(ou da

(ou da Zona Transversal), localizada entre os lineamentos Patos e Pernambuco e, por fim, a Subprovíncia Meridional, entre o lineamento Pernambuco e o Cráton São Francisco (Van Schmus *et al.*, 1997). Por seu turno, cada uma dessas subprovíncias tem sido compartimentada em segmentos crustais conhecidos ora como domínios e subdomínios e ora como terrenos. No caso da região que interessa ao presente trabalho (Subprovíncia Setentrional), a subdivisão é feita, em diversas obras, em termos de: Domínio Noroeste do Ceará (ou Domínio Médio Coreaú), Domínio Ceará Central e Domínio Rio Grande do Norte (Fig. 4).

Figura 3. Principal subdivisão da Província Borborema: SPS – Subprovíncia Setentrional; SPC – Subprovíncia Central; SPM – Subprovíncia Meridional. CSF – Cráton São Francisco (modificado de Cavalcante, 1999). Encarte: - Localização da Província Borborema no Brasil e no Continente Sul-Americano. Domínios da SPS ocidental: DMC – Médio Coreaú ou Noroeste do Ceará; DCC – Ceará Central; DJ – Jaguaribeano ou Orós-Jaguaribe. Zonas de cisalhamento: ZCSPII – Sobral-Pedro II; ZCSP – Senador Pompeu; ZCO – Orós; ZCPa – Portalegre; ZCP – Patos; ZCPe- Pernambuco. Cidades: 1 – Quixadá; 2 – Canindé; 3 – Santa Quitéria; 4 – Itatira.



3. CONTEXTO GEOLÓGICO ESPECÍFICO

3.1. Domínio Ceará Central

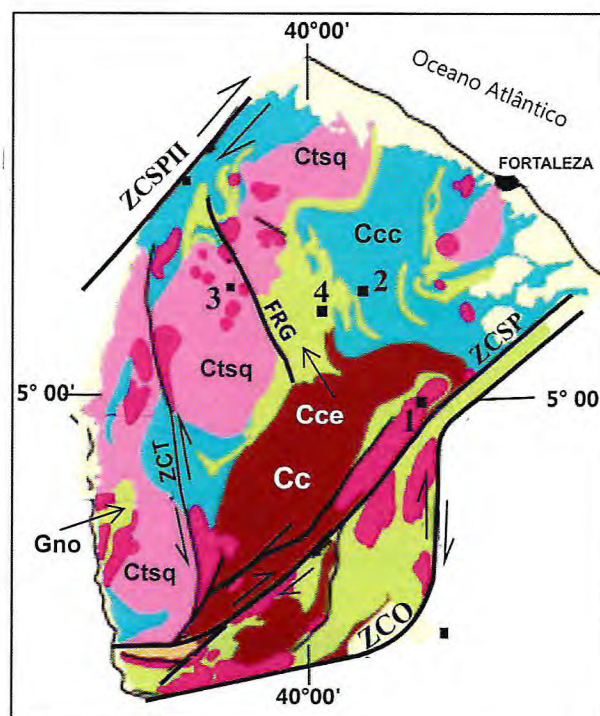
Localizada na porção ocidental da Subprovíncia Borborema Setentrional, a área estudada encontra-se situada no chamado Domínio Ceará Central (Jardim de Sá, 1994; Monié *et al.*, 1997) (DCC, nas Figs. 3 e 4), também nomeado de Terrenos Ceará Central (Cavalcante, 1999).

Esse domínio tem o seu limite noroeste no Lineamento Transbrasiliano (Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II) e o leste na Zona de Cisalhamento Senador Pompeu (Cavalcante, 1999; Fetter, 1999; Brito Neves *et al.*, 2000); contudo, outros autores (p.ex. Arthaud, 2007, 2007a) se reportam a esse último limite na Zona de Cisalhamento Dúctil Orós. O DCC é produto de uma complexa evolução geológica iniciada em tempos arqueanos, passando pelo paleoproterozóico e com intensos e extensivos reflexos dos eventos sedimentares-ígneos e tectono-metamórficos relacionados ao Neoproterozóico-Eopaleozóicos, inerentes ao Ciclo Brasileiro/Pan-Africano.

Segundo Fetter *et al.* (2000), esse domínio é constituído por quatro unidades tectônicas, o Embasamento Arqueano, os Terrenos Acrescionários do Paleoproterozoico, Cobertura Neoproterozoica e Arco Magmático de Santa Quitéria.

As rochas do Embasamento Arqueano (parte do Complexo Cruzeta de Cavalcante *et al.*, 2003) limitam-se às regiões de Pedra Branca e Mombaça, sendo subdivididas em gnaisses cinzas derivados de protólitos de natureza plutônica essencialmente tonalito-granodioríticas, e rochas supracrustais formando uma associação do tipo *greenstone-gnaisses* (Pessoa & Archanjo, 1984; Caby & Arthaud, 1986; Caby *et al.*, 1995). Contudo, ressalta-se que esse tipo de associação, em alguns pontos, tem sido revelado como de idades cronoradiométricas (U-Pb, zircão) paleoproterozóicas (2.300-2.050 Ma).

Figura 4. Principais unidades estratigráficas/litodêmicas do Domínio Ceará Central: **Gr** – Suites Granitóides (Criogeniano-Ordoviciano); **Ctsq** – Complexo Tamboril-Santa Quitéria (Neoproterozóico); **Gno** – Grupo Novo Oriente (Meso?-Neoproterozóico); **Cce** – Complexo (Grupo) Ceará (Meso?-Neoproterozóico); **Ccc** - Complexo Canindé do Ceará (Proterozóico); **Cc** – Complexo Cruzeta (Arqueano-Paleoproterozóico), incluindo outras unidades riacianas (p.ex: Unidade Algodões). Cidades: 1 – Quixadá; 2 – Canindé; 3 – Santa Quitéria; 4 – Itatira. Figura modificada de Costa (2011).



Os terrenos paleoproterozoicos, envolvendo uma subunidade tipo TTG e outra granito gnáissica, representam grande parte da área desse Domínio Ceará Central, perfazendo importante parcela das rochas do Complexo Cruzeta. Trabalhos mais recentes apontam a existência de ortognaisses migmatizados e granulitos, inseridos no âmbito da Unidade Canindé (Cavalcante *et al.* 2003; obs: - Unidade que vem sendo tratada, nos últimos anos, por pesquisadores da CPRM/REFO, como Complexo Canindé do Ceará), que fornecem cronologia do Paleoproterozóico (Torres *et al.*, 2008).

Por sua vez, as unidades pertencentes a Cobertura Neoproterozóica são incluídas, predominantemente, no Complexo Ceará, sendo representadas pelas ocorrências de rochas que, na quase totalidade, são de derivação pelítica e, subordinadamente, psamítica (p. ex. quartzitos), carbonática (mármore) e pelito-carbonática (calcissilicáticas). Também, são descritos *sills* de granitos alcalinos, derrames de riolitos alcalinos e de metabasaltos (Caby & Arthaud, 1986; Arthaud, 2007).

A unidade geotectônica representada pelo Arco Magmático de Santa Quitéria (Fetter, 1999) está localizada a leste da zona de cisalhamento Sobral-Pedro II. Os limites dessa unidade são ainda pouco precisos, encontrando-se parcialmente bem traçados.

Tratando-se da região descrita como Batólito Santa Quitéria (BSQ) ou Complexo

Tamboril-Santa Quitéria, encontra-se materializado por uma associação plutônica granito-migmatítica neoproterozóica, servindo de encaixantes para granitoides eopaleozóicos (cambro-ordovicianos).

Esse BSQ, segundo Zincone (2011), refletem as seguintes fases magmáticas:

a) Fase Magmática Santa Quitéria (FMSQ) (658-606 Ma), considerada pré- a sin-empurrão e agrupando “três unidades magmáticas, todas fatiadas, deformadas e deslocadas por falhas inversas do Cinturão de Cavalcamento Ceará Central”, como segue: (i) magmatismo félsico responsável pela geração de monzogranito megaporfírico; ii) magmatismo intermediário de clinopiroxênio hornblenda monzodioritos a monzogranitos melanocráticos; iii) magmatismo máfico.

b) Fase Magmática Tamboril (FMT), que chega a avançar para áreas fora do limite do BSQ, “é tardi-empurrão a sin- transcorrência e compreende duas unidades, sendo uma epizonal de granitos equigranulares rosa, ferroso, cálcio-alcálica de alto- K e shoshonítico e outra de migmatitos de injeção”.

Dentre as unidades estratigráficas citadas anteriormente, destaca-se, em função do interesse do presente estudo, o Complexo (Grupo) Ceará, que perfaz a quase totalidade da referida Cobertura Neoproterozóica.

3.2. Complexo Ceará

Trata-se da unidade litoestratigráfica que interessa de perto, pois envolve a área trabalhada, por encontrar-se no domínio da mesma.

De acordo com o Mapa Geológico da CPRM (Cavalcante *et al.*, 2003), este complexo é representado pelas unidades Canindé, Independência, Quixeramobim e Arneiroz. Dentre estas a que importa ao trabalho em questão é a Unidade Independência que, na região entre Boa Viagem, Madalena e Itatira (Fig. 5), mostra francas relações de contatos tectônicos (zonas de cisalhamento dúctil inversas) com rochas de um embasamento paleoproterozóico (p.ex., Unidade Algodões/Complexo Cruzeta, em parte), a leste, e do Complexo Tamboril-Santa Quitéria (migmatitos e granitoides), a oeste. Constitui um sistema de empurrões. Em conformidade com Arthaud (2007 e 2008), essa Unidade Independência, nas folhas Boa Viagem e Itatira, encontra-se formada pelas seguintes subunidades (Fig. 4), da base para o topo:

a. **Subunidade São José dos Guerra:** Na Folha Boa Viagem (1:100.000), o seu contato com a Unidade Algodões é marcado por milonitos metamórficos com granadas arredondadas e grande quantidade de muscovita recristalizada. Encerra uma associação de biotita gnaisses, às vezes muscovíticos dominantes, levemente migmatizados, associados a quartzitos e gnaisses pelíticos a granada, muscovita e rara cianita; rochas frequentemente miloníticas.

b. **Subunidade Lázaro:** Metatonalitos envolvidos por gnaisses finos com muscovita, biotita e cianita.

c. **Subunidade Guia:** Metapelitos dominantes com cianita na base passando para sillimanita; no topo, intercalações de quartzitos e mármore/rochas calcissilicáticas; raras intercalações de anfibolitos. A base é constituída por espessos milonitos retrógrados com muscovita/granada. O grau de migmatização aumenta da base para o topo. Nos gnaisses é comum a presença de Rutilo. Intercalações de anfibolitos, associados, por vezes, a rochas calcissilicáticas. Os anfibolitos ricos em granadas têm sido interpretados como retroeclogitos derivados de *sills* ou derrames de basaltos (Castro, 2004; Garcia *et al.*, 2006).

d. **Subunidade Itatira:** Também conhecida como *Nappe* de Itatira, tem seu contato com a Subunidade Guia através de uma sola milonítica constituída essencialmente por rochas clasto-miloníticas. Encontra-se constituída de metapelitos com cianita e sillimanita, contendo, na base, intercalações de quartzitos, mármore e rochas calcissilicáticas.

Ainda, é interessante ressaltar que as rochas da Unidade Independência, na região que envolve o jazimento fósforo-uranífero de Itataia (Fig. 6; grande parte envolvida na Fig. 5), alvo principal do presente trabalho, foram tratadas pelo Projeto RadamBrasil (1981) como do Complexo Itatira, enquanto Mendonça *et al.* (1982 e 1984) as incluem numa unidade litoestratigráfica nomeada de Grupo Itataia, envolvendo as seguintes formações:

a. **Formação Serra do Céu** - Unidade basal constituída, essencialmente, por migmatitos, metarcóseos e gnaisses, com intercalações de lentes anfibolíticas e diferenciações pegmatóides;

b. **Formação Laranjeiras** - Quartzitos quase puros e micáceos, localmente ferríferos;

c. **Formação Barrigas** - Domínio de gnaisses diversos migmatizados ou não, onde os litotipos mais representativos oscilam de biotita gnaisses a biotita-sillimanita gnaisses,

por vezes com percentagem significativa de anfibólio e granada;

d. Formação Alcantil - Principal hospedeira das mineralizações fósforo-uraníferas, sendo constituída de mármore calcíticos de textura sacaróide, brancos a cinza, variando de puros até impuros, contendo piroxênio, grafita, anfibólio e flogopita.

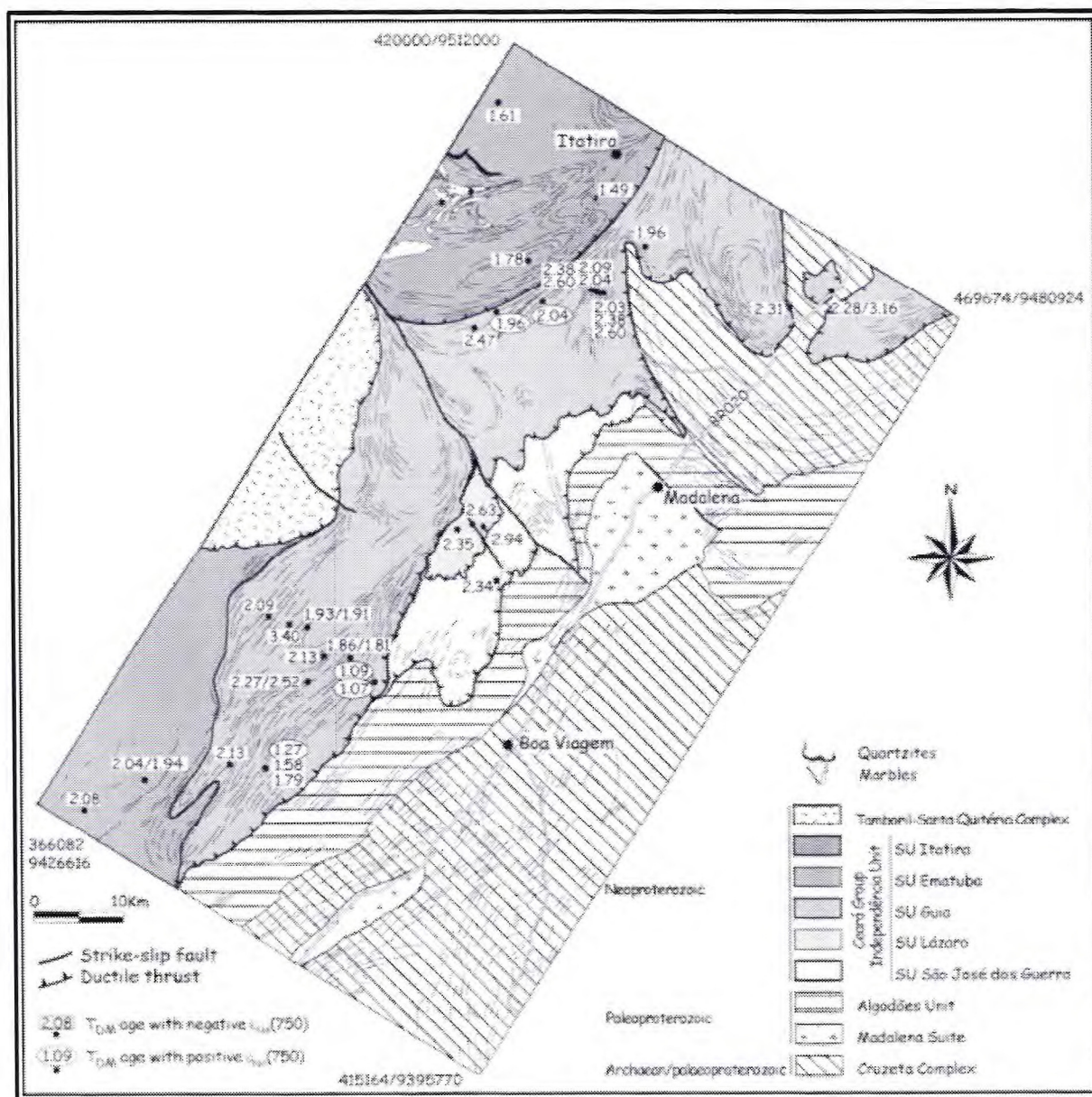


Figura 5. Mapa geológico esquemático da região Madalena-Boa Viagem, Ceará (compilado de Arthaud, 2007).

4. GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo, são descritos, especialmente, os principais litotipos aflorantes na área em questão, com destaque para as principais características petrográficas e estruturais dos corpos mineralizados, agregando registros macro-microscópicos, ficando os dados sobre a mineralização fósforo-uranífero para o capítulo subsequente.

4.1 Estratigrafia e petrografia

Em virtude de não ter-se, até o momento, um senso comum para uso de uma nomenclatura litoestratigráfica formal da região, será adotada aquela proposta por Mendonça *et al.* (*op.cit.*), conforme a Fig.7, apenas registrando-se as dúvidas por meio de aspas (p.ex. “Formação”). Em termos cronoestratigráficos, os estudos realizados nos últimos 12 anos apontam, preferencialmente, para a Era Neoproterozóica, como de idades de deposição e deformação/metamorfismo do Grupo Itataia (Complexo Ceará), ressaltando-se a possibilidade da existência de rochas mesoproterozóicas.

4.1.1 “Grupo” Itataia (Neoproterozóico)

No que se refere as relações litoestratigráficas e a caracterização petrográfica dos principais litotipos estudados e relacionados ao “Grupo” Itataia, tem-se:

4.1.1.1 “Formação” Serra do Céu

Em termos de arranjo estratigráfico normal, a “Formação” Serra do Céu tem sido considerada como a unidade basal da região, apresentando-se, na área estudada, com espaços de exposições dominantes nas encostas meridionais da serra homônima, sendo sobreposta a “Formação” Barrigas e sotoposta a “Formação” Laranjeiras. Referindo-se a primeira, conforme a Fig.7 e Anexo I, tem-se uma relação de contato tectônico, através de uma zona de cisalhamento dúctil inversa/cavalgamento (contudo, as observações de

campo não foram suficientes para confirmar este desenho) e com a segunda uma relação transitiva (aumento da porcentagem de leitos areno-quartzosos). Corriqueiramente, as rochas referentes à “Formação” Serra do Céu se distribuem, na paisagem, na forma de blocos de dimensões variáveis (de centimétricas a métricas), sendo bem identificados desde o contato inferior com a “Formação” Barrigas até os quartzitos da “Formação” Laranjeiras, em situações de maiores altitudes .

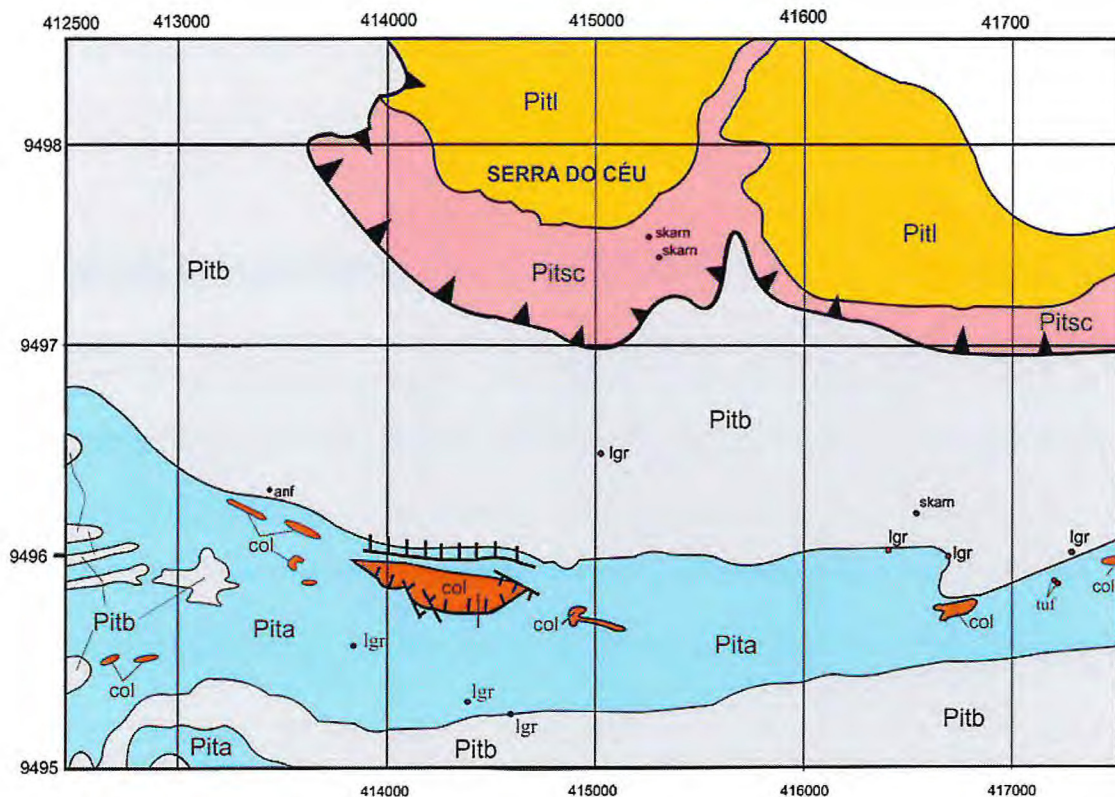


Figura 7. Unidades litoestratigráficas da área estudada, conforme Mendonça *et al.* (1982 e 1984).

Mapa simplificado do Projeto Santa Quitéria (2013). Meso-Neoproterozóico > “Grupo” Itataia: Pitsc – “Formação” Serra do Céu; Pitl – “Formação” Laranjeiras; Pitb – “Formação” Barrigas; Pita - “Formação” Alcantil. col - Corpo mineralizado a U e P (colofanito); JI –Principal zona prospectada (Jazida de Itataia); anf- Anfibolito;lgr – Leucogranitóide; skarn – Escarnito; tuf – Tufa calcária.

Em análises de afloramentos e amostras de mão, os litotipos predominantes dessa unidade foram descritos como granada-biotita gnaisses cinzentos, de granulação média a grossa, ricos em porfiroblastos de granada, admitidos como provenientes de pelitos e pelito-psamíticos, em parte com leitos e diques quartzo-feldspáticos deformados (Fig. 8 e 9A e 10A), localmente com níveis quartzosos (Fig. 9B). Secundariamente, encontram-se rochas escuras, esverdeadas, de granulação variada, compostas, em parte, quase totalmente por cristais de anfibólio (tremolita-actinolita), com marcante crescimento radial,

sendo descritas como escarnitos (Fig. 11); além de um litotipo registrado como anfibolito de provável derivação sedimentar.

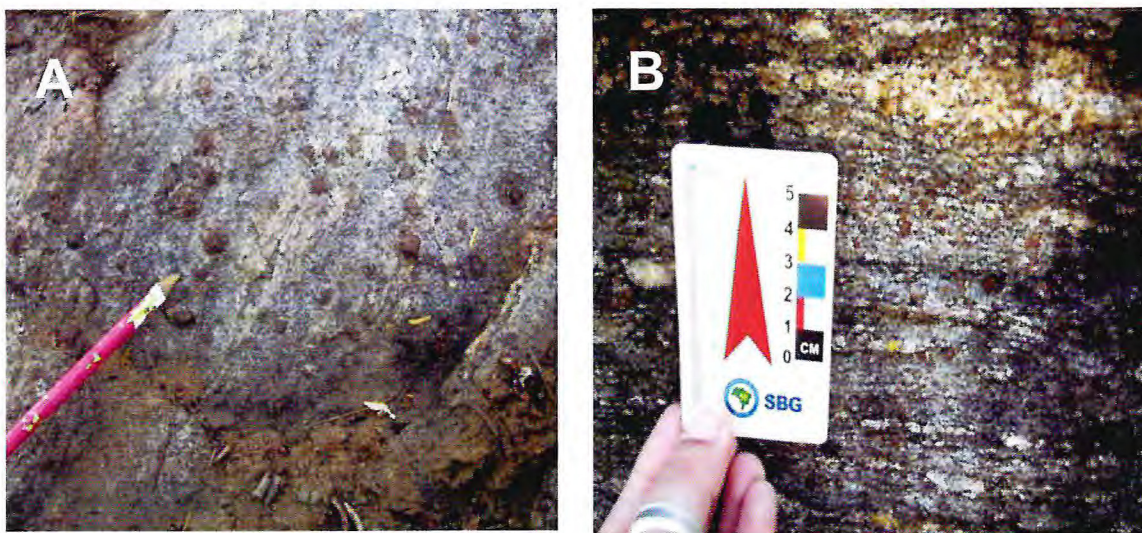


Figura 8. “Formação” Serra do Céu: **A** - UTM 415317 9497315 - Biotita paragnaisse migmatítico rico em porfiroblastos mili-centimétricos de granada (almandina?) e com leucossoma quartzo-feldspático restrito e de distribuição irregular; **B** – UTM 415330 9497415 - Porção da unidade vista em **A**, onde destaca-se a organização lenticular do leucossoma que chega a envolver um ou mais porfiroblastos de granada, esta podendo apresentar uma envoltória de mineral máfico (biotita?). Fotografo: A. F. Cavalcante.

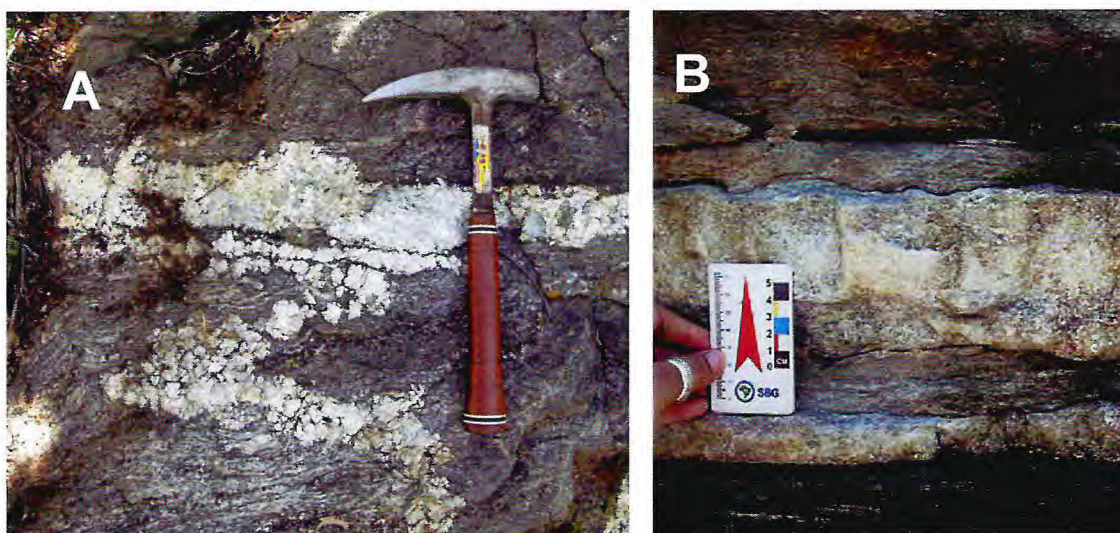


Figura 9. “Formação” Serra do Céu: **A** - UTM 415330 9497415 - Granada-biotita gnaisse cinzento encerrando corpos feldspáticos dispostos subconcordantes e discordantes em a foliação S_n , mostrando-se deformados (v. segmento num formato de dobras); **B** - UTM 415330 9497415 - Leitões quartzosos discretamente boudinados e subordinados ao gnaisse anterior em situação de mais alto *strain* (milonito gnaisse). Fotografo: A. F. Cavalcante.

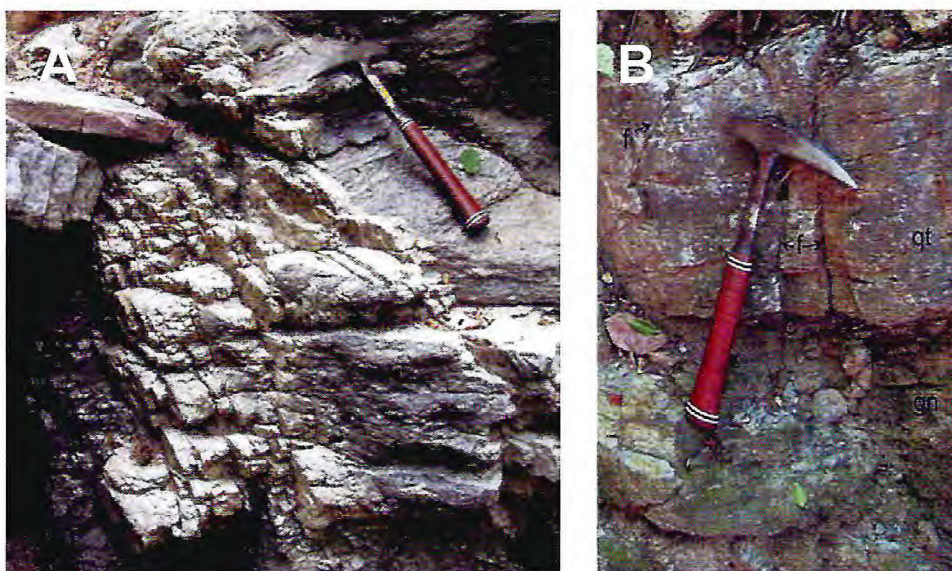


Figura 10. “Formação” Serra do Céu: **A** - UTM 415531/ 9497982 – Granada-biotita gnaissse servindo de encaixante para dique de leucogranitóide, bem fraturado e com uma clivagem extensiva ao gnaissse; **B** – UTM 415549/9497922 – Contato (c) entre um leito de quartzito (qt) e o granada-biotita gnaissse (gn); f – fratura. Fotografia: A. F. Cavalcante.

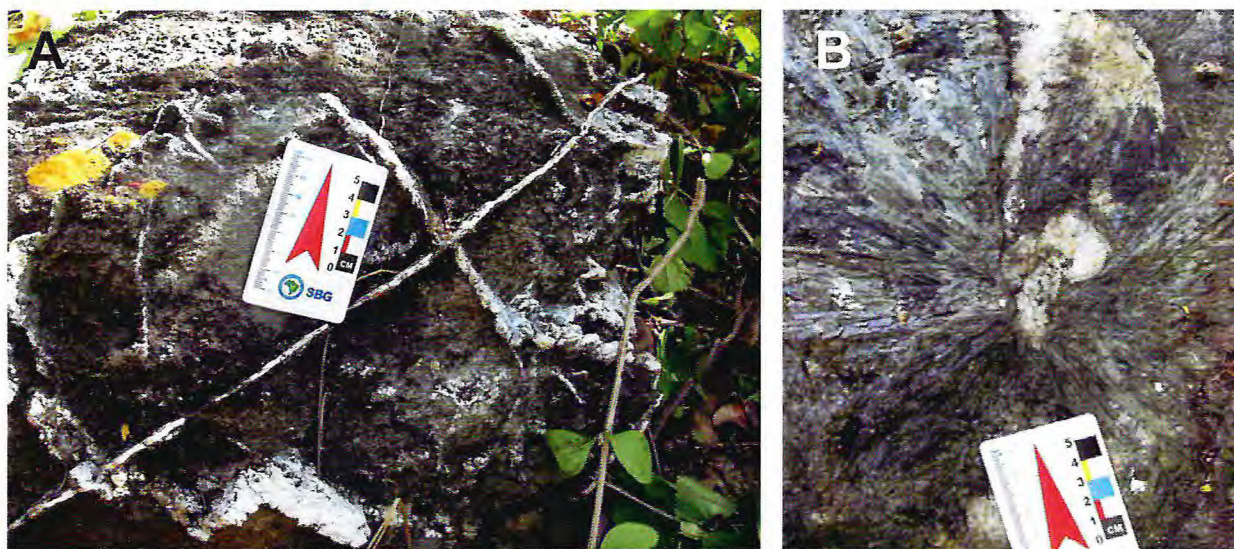


Figura 11. “Formação” Serra do Céu: **A** - UTM 415252 9497536 – Bloco de calcissilicática/escarnito cortado por estreitos veios félsicos (albiticos?); **B** - UTM 415301 9497438 – Seção da rocha escarnítica onde destacam-se os cristais de anfibólios (actinolita-tremolita) de crescimento radial, concentrados em dois leques em torno de um núcleo predominantemente félsico. Fotografia: A. F. Cavalcante.

4.1.1.2 “Formação” Laranjeiras

Como descrito anteriormente, suas relações de contato com a subjacente “Formação” Serra do Céu são tidas como gradacionais. Seu domínio encerra os maiores valores altimétricos da área trabalhada, como aqueles da serra homônima, em parte já partindo da cota 720 até aproximadamente 1.090m.

Os afloramentos visitados, em sua maior parte, são do tipo blocos de dimensões variadas. De modo geral, correspondem a quartzitos de granulação média, de coloração oscilando entre bege claro e marrom, com tons mais escuros em zonas com incorporação de óxido de ferro (principalmente relacionadas a fraturas). Mesoscopicamente, são constituídos, essencialmente, de quartzo (cristais dominantes) bem recristalizado, feldspatos esbranquiçados (parcialmente alterados/caulinizados) e muscovita em palhetas brilhantes e esparsamente distribuídas (Fig. 12), concentrada, por vezes, em estreitos níveis que se alternam aqueles de material mais quartzoso. Estruturalmente, encerram superfícies S bem definidas e sistemas de fraturas em torno de E-W, NW e, em menor número, NE (Fig. 12).

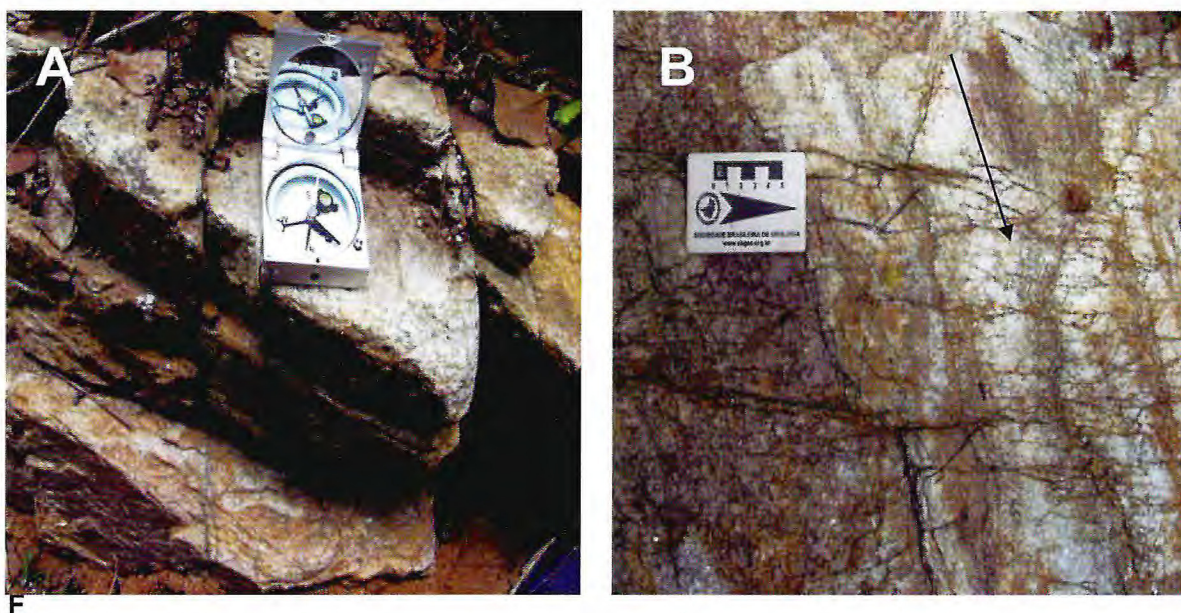


Figura 12 . “Formação” Laranjeiras: **A** – UTM 415549 / 9497922 – Quartzito com superfícies Sn//Sn-1 bem definidas e cortadas por fraturas dos sistemas NW (067/85) e NE (166/70) (m – muscovita); **B** – UTM 415603 / 9498128 – Quartzito (qz + fds + mv) exibindo segmento marcado por um complexo de fraturas responsável por um arranjo do tipo cataclasito-brecha. Fotografo: A. F. Cavalcante.

Análise micropetrográfica de uma amostra da seção-tipo dessa “Formação”, fora da área estudada, revelou uma composição de subarcóseo, onde destaca-se um amplo

predomínio de cristais de quartzo ($\approx 75\%$) e k-feldspatos ($\approx 25\%$), enquanto o rutilo ocorre, localmente, ao nível de traços. Por sua vez, o quartzo mostra-se em cristais anédricos, ameboide, com leve extinção ondulante (raros cristais são seção basal); enquanto os cristais de feldspato potássico, hipídio a xenoblásticos, são geralmente pertíticos (Fig. 13), estando alguns com maclas da Albita-Periclina (xadrez), típica de microclínio micropertítico, albitizados e com alteração para caulim.

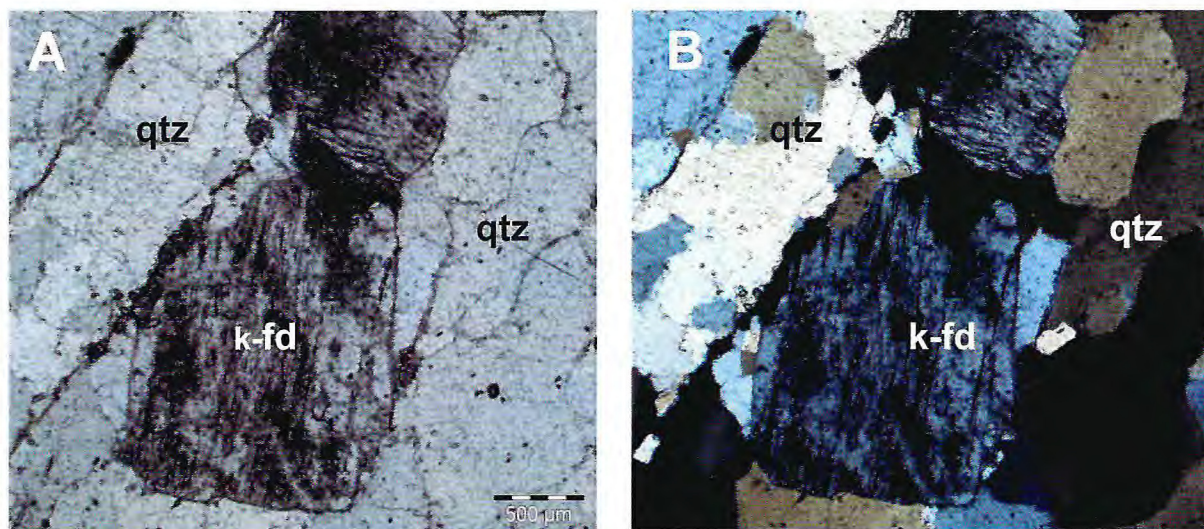


Figura 13. “Formação” Laranjeiras - UTM 417904/9491149 - Fotomicrografias de um quartzito subarcoseano onde destaca-se a presença da microclina pertítica aprisionada em um mosaico de cristais anédricos de quartzo com suave extinção ondulante. **A** - LN e **B** - LP.

4.1.1.3. “Formação” Barrigas

É a unidade de maior representatividade na área estudada, podendo ser revelada em lajeados, que chegam a medir mais de 50 metros de comprimento, e blocos de diversas dimensões, *in situ* e alóctones. Conforme o citado anteriormente, o contato com a Formação Serra do Céu tem sido delineado por uma zona de cisalhamento dúctil inversa (Fig. 7); ao passo que, com a “Formação” Alcantil assinala-se um comportamento transitivo, onde a rocha gnáissica encerra intercalações/lentes de rochas metacarbonáticas puras e impuras (mármore e rochas calcissilicáticas) e vice-versa.

Encontra-se formada, predominantemente, de rochas gnáissicas a biotita, de granulação média a grossa, com tonalidades cinzentas (rocha sã), geralmente granadíferas, com ou sem sillimanita (Fig. 14 a 15) e com subordinadas lentes de rochas calcissilicáticas/

escarnitos (Fig. 17B e 18) e, localmente, de granada anfibolito (Fig. 17A). No geral, exibem níveis distintos de migmatização, oscilando dentro do baixo a médio intervalo de participação leucossomática (feldspato + quartzo) dos metatexitos. A superfície S amplamente dominante é um Sn (localmente ladeando pequenas dobras intrafoliais, Fig.15B). Ainda, rochas desta unidade mostram-se como encaixantes de corpos (diques-*sheets*) de leugranitóides (Item 4.1.2) geralmente deformados.

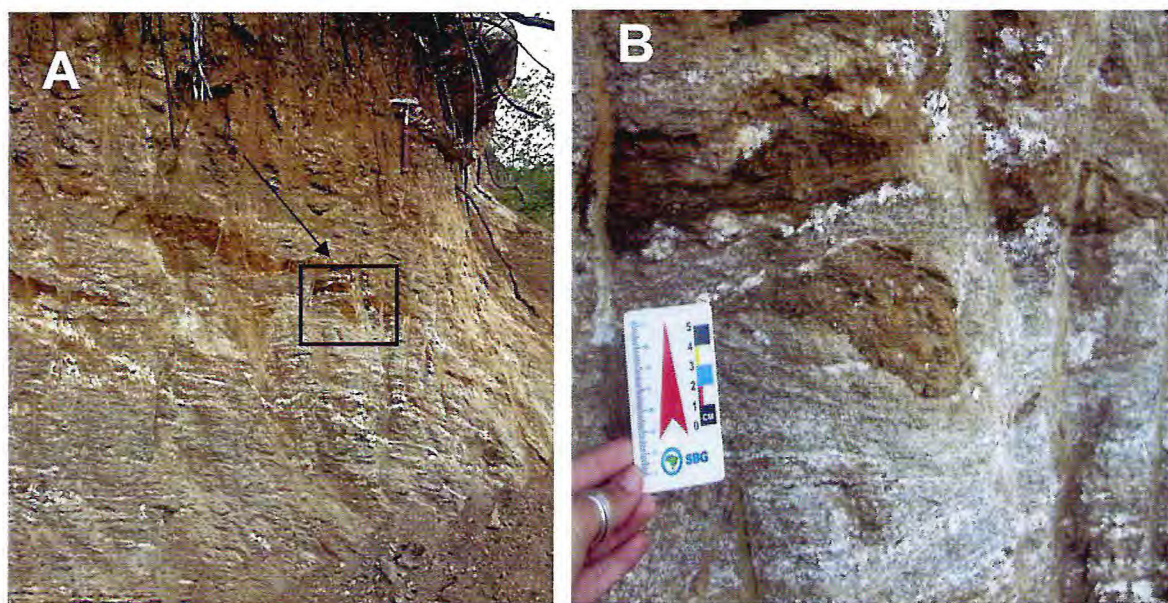


Figura 14. “Formação” Barrigas: **A** – UTM 414732/ 9495850 – Talude de estrada de terra mantido por sillimanita-granada biotita gnaisse, em níveis distintos de alteração, de rocha alterada a saprólito, encerrando *boudins* de rocha biotítica e segmentos com maior porcentagem da fração leucossomática/metatexito estromático (retângulo = área de enquadramento de B); **B** – Do afloramento anterior, aspectos dos *boudins* máficos de forma sigmoidal. Fotografia: A. F. Cavalcante.

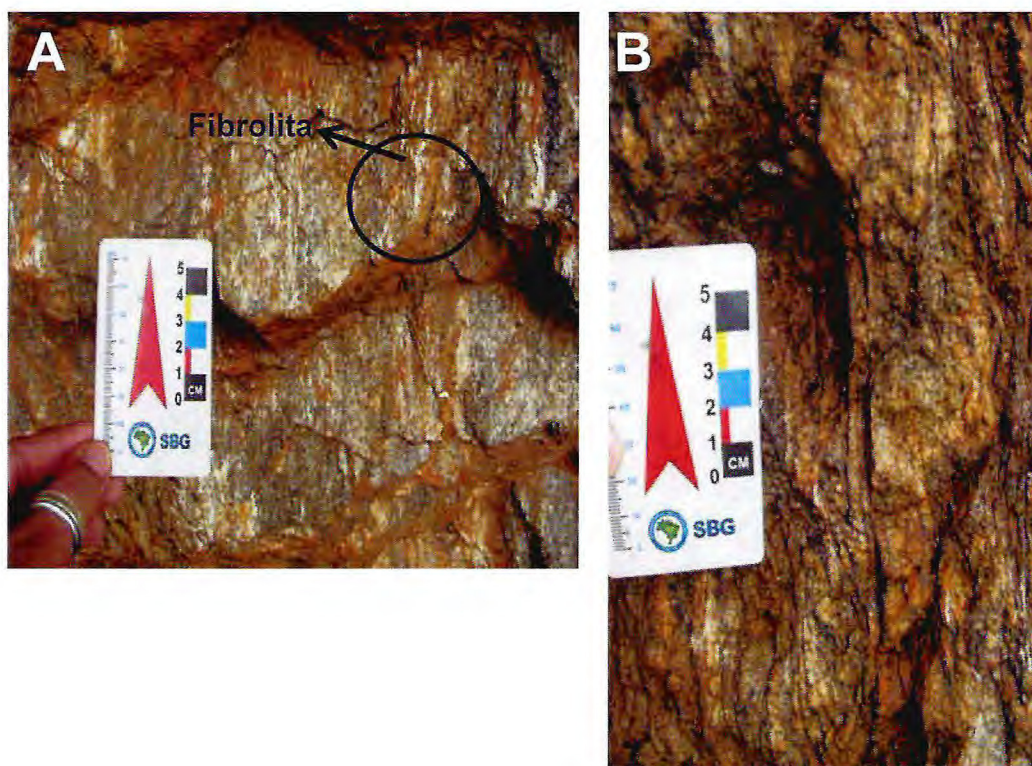


Figura 15. “Formação” Barrigas: **A** - UTM 414773 9495191 - Sillimanita-granada-biotita gnaiss migmatizado (metatexito), com leucossomas em estreitos corpos descontínuos, segundo a foliação S_n (Lineação mineral = 100/23); **B** – Do mesmo afloramento, segmento com dobras intrafoliais, materializando uma relação entre S_{n-1} (superfície dobrada) e S_n (superfície de transposição) dominante na exposição. Fotografo: A. F. Cavalcante.

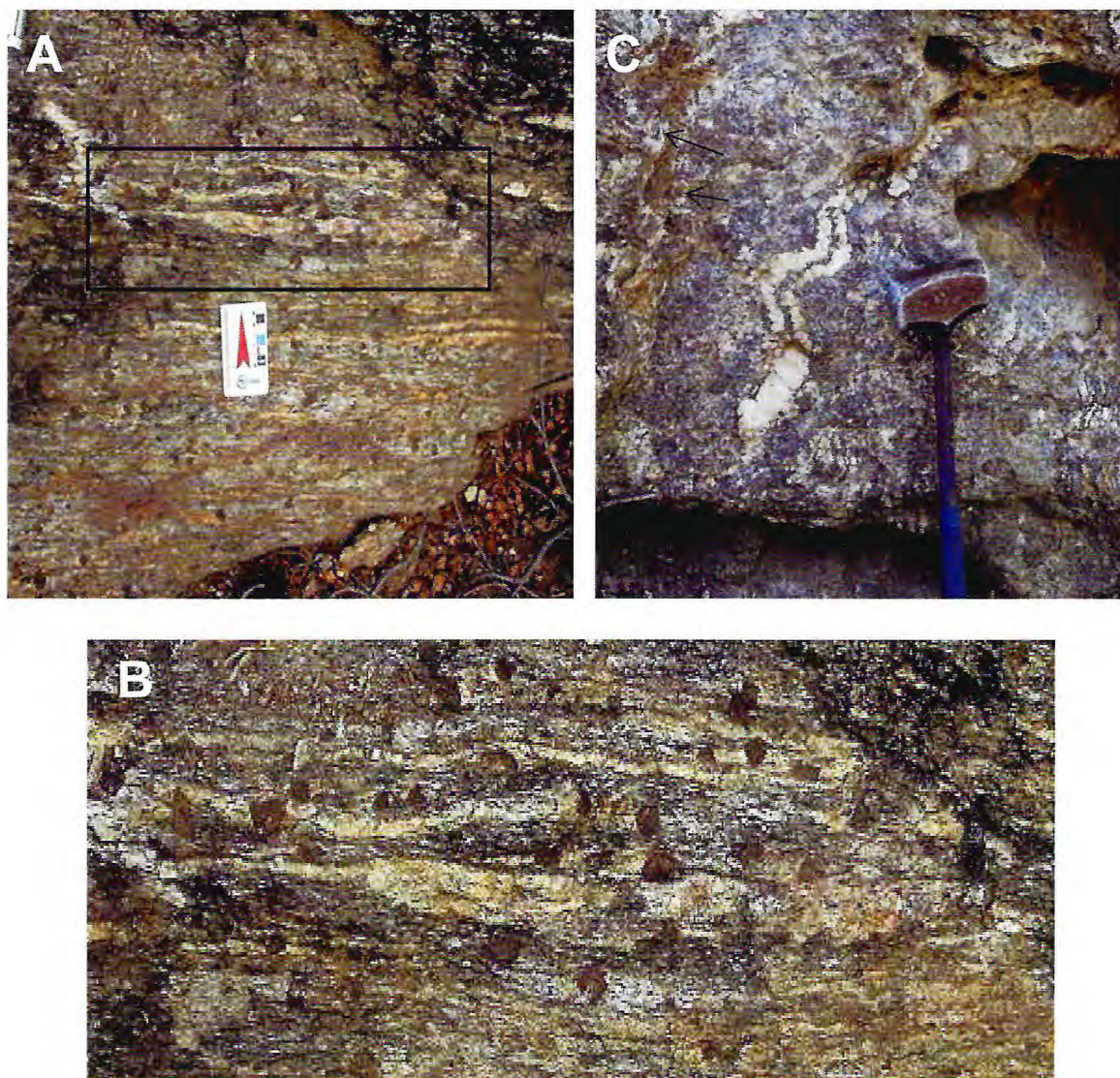


Figura 16. “Formação” Barrigas: **A** - UTM 414182/9496000 - Biotita gnaissé migmatizado com sillimanita, com feições miloníticas, rico em porfiroblastos/porfiroclastos mili-centimétricos de granada e com leitos leucossomáticos estreitos e descontínuos, expondo grande similaridade com o granada-biotita gnaissé incluído da “Formação” Serra do Céu (ver **Fig. 8B**); **B** – Ampliação do polígono B marcado em A, onde ressaltam-se os porfiroblastos/porfiroclastos de granada (almandina), tanto no leucossoma como no mesossoma, sendo aureoladas por máficos (biotitas); **C** – Distribuição irregular dos leucossomas no afloramento do granada-biotita gnaissé migmatítico com *spots* de leucossomas onde a granada é envolvida por feldspato ou feldspato + quartzo. Fotografia: Ana Flávia da C. Cavalcante (05/2016).

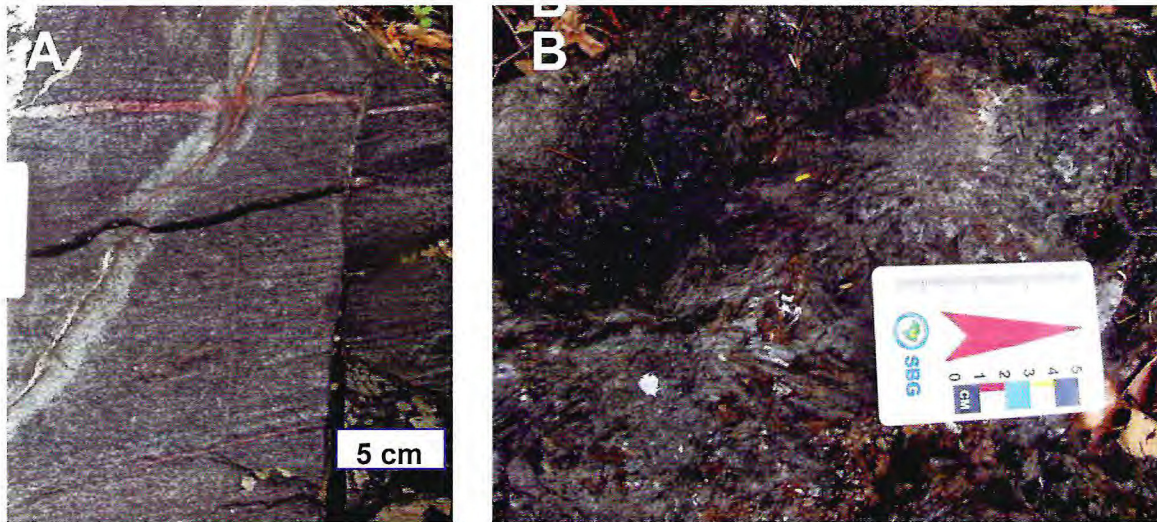


Figura 17. “Formação” Barrigas: **A** – UTM 414187/9496094 – Granada anfibolito como encaixante de veios calcíferos, provavelmente impregnado de colofana (proximidades do contato com os mármores mineralizados da “Formação” Alcantil); **B** - UTM 416539/9496208 – Escarnito que inclui evoluídos cristais de anfibólio (tremolita-actinolita), ocorrendo como blocos de um sítio com rochas calcissilicáticas e gnaisses. Fotografo: Ana Flávia da C. Cavalcante (05/2016).

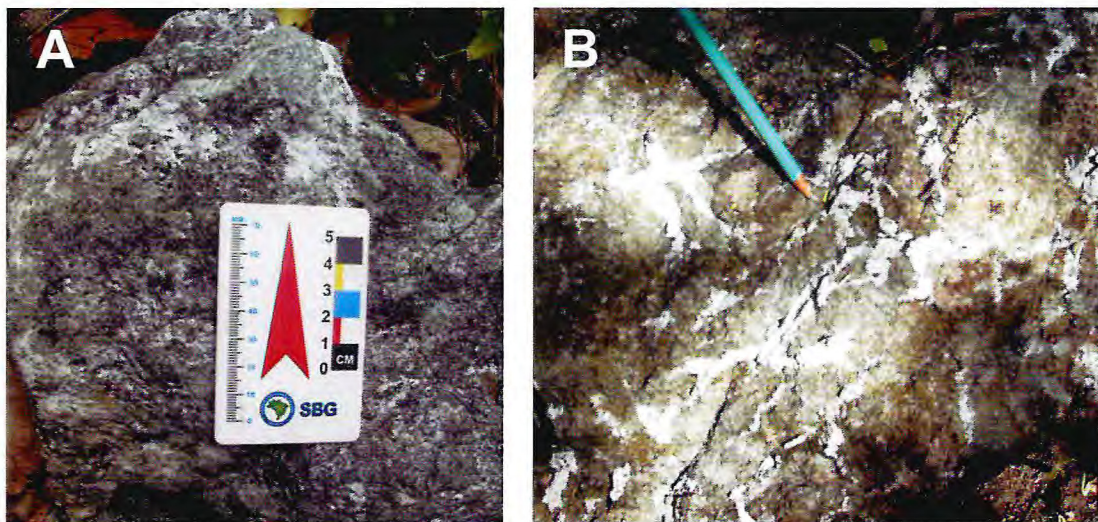


Figura 18. “Formação” Barrigas: **A** – UTM 416539/9496208 – Bloco de rocha calcissilicática/escarnito cinza-esverdeada, associada a gnaisses migmatíticos; **B** - UTM 415073/9495248 - Feições estruturais de uma brecha de rocha calcissilicática “cimentada” por material (rocha) feldspático (albitico?). Fotografo: Ana Flávia da C. Cavalcante (05/2016).

Por sua vez, microscopicamente, a rocha anfibolítica (Fig. 17A) mostrou-se constituída, predominantemente, de anfibólios (hornblenda e tremolita) prismáticos e fibrosos, com pleocroísmo castanho a castanho-claro, por vezes alterados para biotita e calcita; granadas totalmente fraturadas (Fig. 19), onde as discontinuidades são preenchidas por anfibólios fibrosos, carbonato (calcita) e epídoto; plagioclásio totalmente saussuritizado para carbonato. Neste espécime a calcita mostra-se formada tanto a partir do plagioclásio como do anfibólio. Os opacos (ilmenita-magnetita) e titanita aparecem inclusos, principalmente, nos anfibólios. Localmente ocorrem cristais de flogopita e apatita.

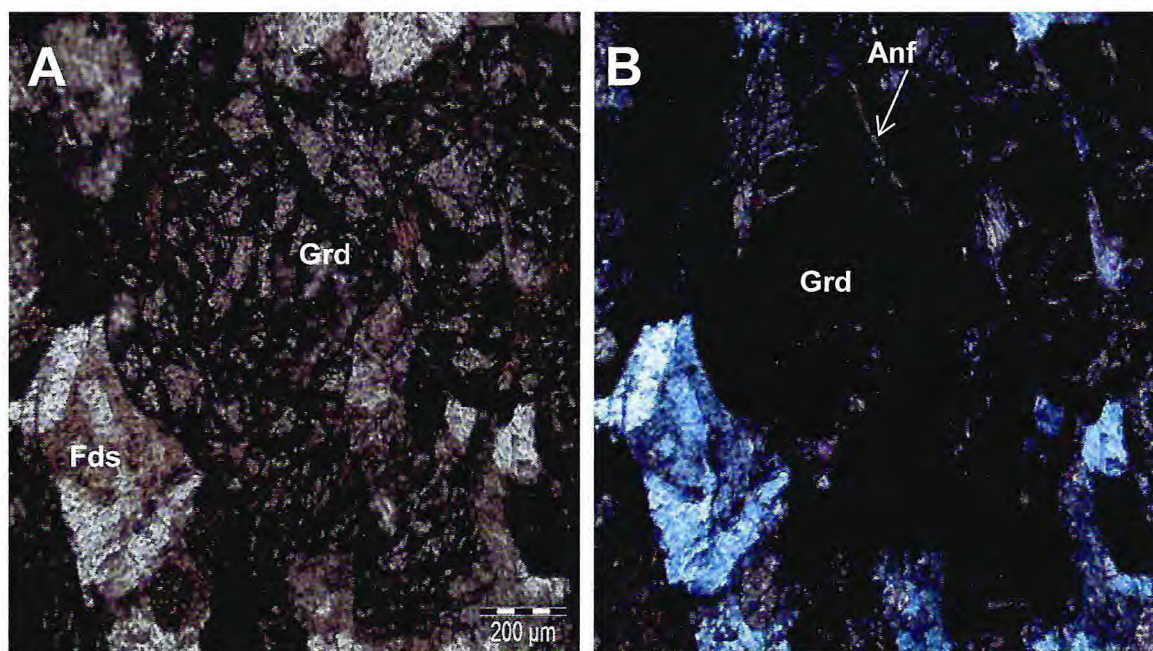


Figura 19. Fotomicrografias relativas a rocha anfibolítica exibida na Fig. 16A, onde marca-se: Grd - cristal de granada com fraturas preenchidas por anfíbólio fibroso (Anf); Fds (Plagioclásio) – Feldspato saussuritizado. A - LN e B – LP.

Já exemplares de rochas calcissilicáticas/escarnitos exibem texturas granoblásticas discretamente bandada e lenticular, tendo como minerais essenciais o clinopiroxênio (diopsídio, parcialmente alterados para anfíbólio), o plagioclásio (em parte dominante, por vezes com geminação da Albita e saussuritizados para argilominerais), escapolita, anfíbólio, titanita (podendo chegar a grandes cristais subédricos e anédricos, associados e inclusos ao clinopiroxênio e a escapolita), flogopita e apatita. Na variedade mais rica em flogopita (Fig. 20), esta ocorre, em certas porções, como cristais tabulares de pleocroísmo castanho-alaranjado, provenientes da alteração do clinopiroxênio. Opacos (ilmenita – hematita) e titanita formam cristais anédricos, inclusos em clinopiroxênio. O k-feldspato pode se fazer presente em insignificante porcentagem.

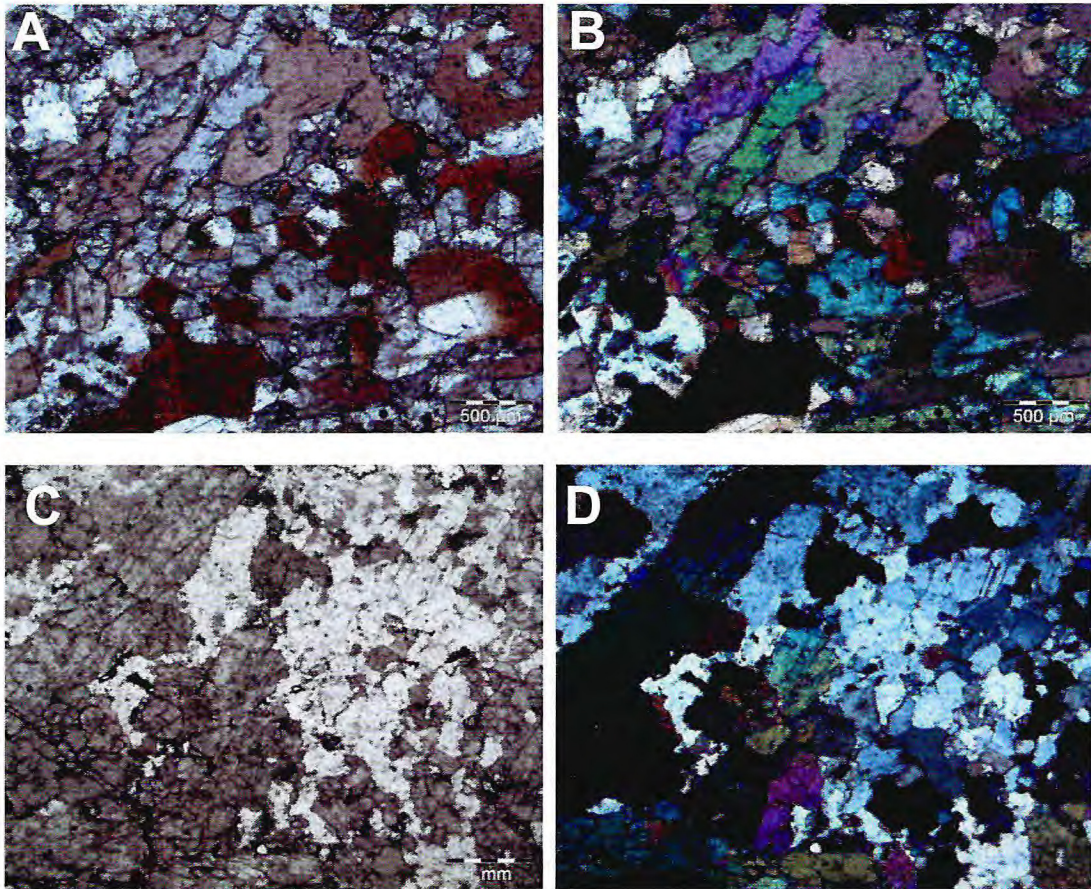


Figura 20. Fotomicrografias de um exemplar de rocha calcissilicática da Formação Barrigas (UTM416539/9496360): **A** (LN) e **B** (LP) – Porção marcada pela presença de flogopita com pleocroísmo castanho-alaranjado, contendo inclusões de opaco e de zircão com halo pleocroícos; **C** (LN) e **D** (LP) – Parte ocupada, predominantemente, por cristais de clinopiroxênio e plagioclásio (albita-oligoclásio), parcialmente saussuritizados.

4.1.1.4 “Formação” Alcantil

Dentro das unidades estudadas, esta ocupa o segundo lugar em área mapeada; entretanto, constitui-se na de maior importância econômica, por encerrar relevantes fácies de mármore calcíticos, além de ser a principal hospedeira do minério fósforo-uranífero da região, refletida na importante Jazida de Itataia.

Seus afloramentos acontecem em blocos autóctonos e alóctonos e, principalmente, na forma de lajedos (Figs. 21,22 e 23) e “pedreiras” com frentes de altos ângulos, geralmente marcadas por feições cársticas, localmente bem interessantes. Sustenta um relevo de morros e pequenas serras alinhados, preferencialmente, em torno de E-W (p.ex: Morro do Canudo e Serrote da Igreja ou Verde). Seus contatos com os gnaisses da

“Formação” Barrigas, como descrito no subitem 4.1.1.3, são transicionais. Sua espessura, segundo Mendonça *et al.* (1982), atinge um pouco mais de 50 metros. Todavia, este número sugere tratar-se de algo estimativo, tendo-se em vista o estilo de dobras apertadas, com planos de baixos ângulos de mergulhos, envolvendo a unidade metacarbonática (considerando-se suas intercalações de calcissilicáticas e paragnaisses).

No conjunto, predominam os mármore de tonalidades cinzentas (Figs. 21 e 22) até branca, em espessos leitos mais ou menos isogranulares (sacaroidais) a finamente bandados, quando alternados a leitos impuros ou de rochas calcissilicáticas e, mesmo, de paragnaisses.

Em diversas exposições, assinala-se a existência de mármore e/ou rochas calcissilicáticas servindo de encaixantes para corpos de leucogranitóides (Figs. 23 e 24) e, subordinadamente, de rochas descritas, frequentemente, como epissienitos (Item 4.1.3). Agregam-se, ainda, diversas feições impostas aos mármore no desenvolvimento do material fósforo-uranífero (colofanitos) e sua posterior lixiviação (ver Capítulo 5); esta extensiva às rochas carbonáticas, onde espeleotemas são frequentes.

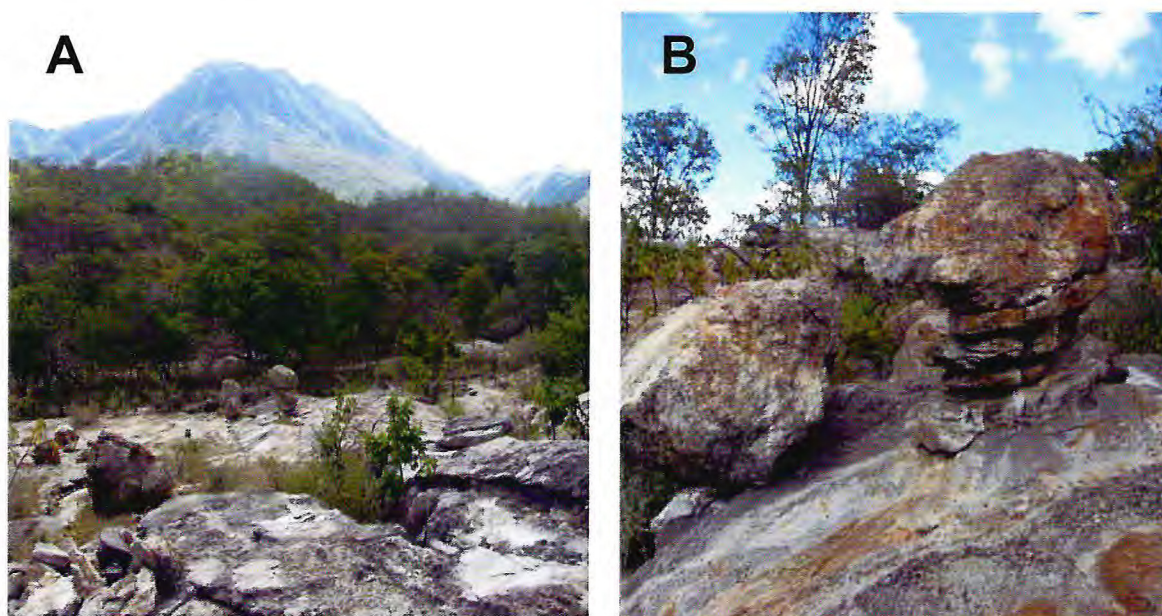


Figura 21. “Formação” Alcantil: **A** – UTM Ponto 26 – 413875 9495477 - Vista de parte de um lajedo de mármore, tendo ao fundo a Serra do Céu; **B** – Do afloramento anterior, formas de alguns blocos, em parte refletindo efeitos de erosão diferencial. Fotografia: A. F. Cavalcante

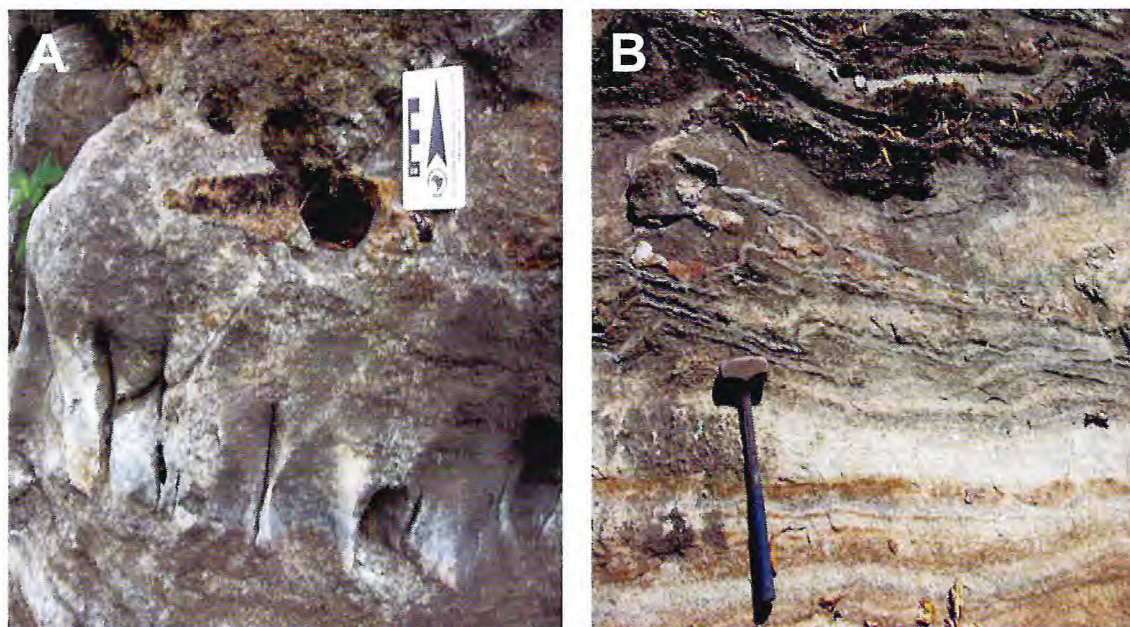


Figura 22. “Formação” Alcantil: **A** — UTM 416820/9495973 - Feições cársticas no mármore; **B** – UTM 414023/ 9495417 - Mármore com leitos impuros/calçissilicáticos (*boudins* de níveis mais competentes). Fotografia: A. F. Cavalcante.

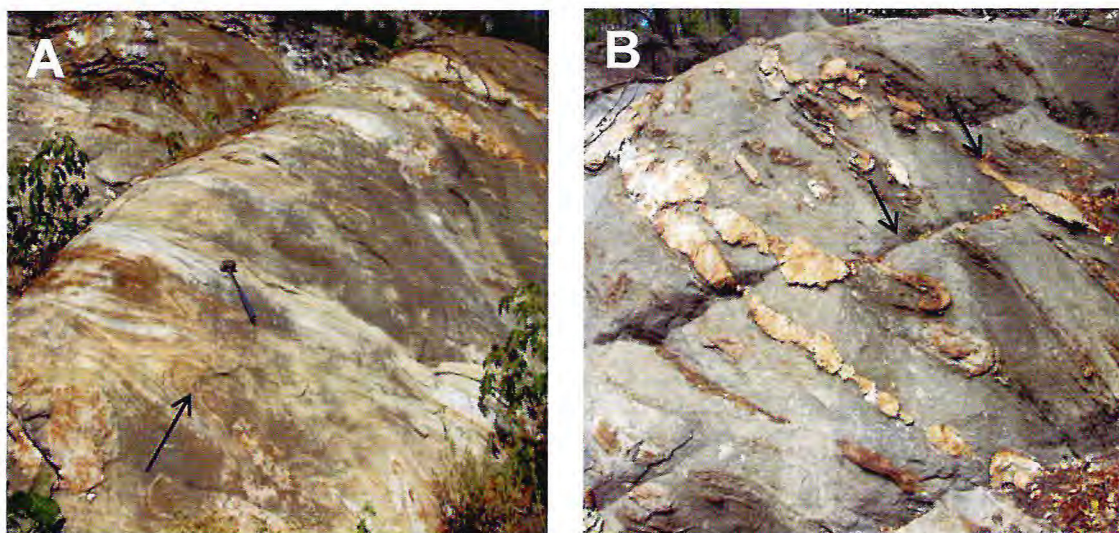


Figura 23. “Formação” Alcantil: **A** – Mármore com dobras apertadas (F_n), inclinadas e eixos mergulhantes, servindo de encaixante para corpos de leucogranitóide com espessuras centimétricas, boudinados e dobrados; **B** – Do mesmo afloramento, realce para as formas dos *boudins* de leucogranitóide e de pequenas dobras (setas \rightarrow sigmóides e dobras apontando para movimento dextral). Fotografia: A. F. Cavalcante

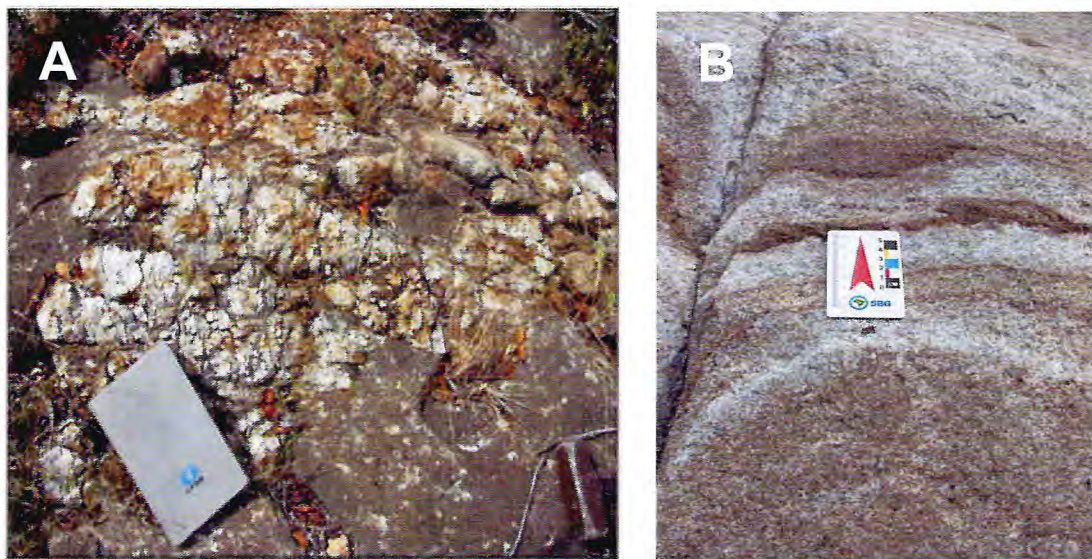


Figura 24. “Formação” Alcantil: **A** - UTM 415024 9495490 – Mármore encerrando bolsões (boudins) de leucogranitóide de granulação muito grossa/pegmatóide; **B** – UTM 415177/949539 – Mármore cinza sacaroide, cortado por fratura e com superfícies Sn bem definidas com atitude 160/30. Fotografo: A. F. Cavalcante.

Em escala microscópica, exemplar de mármore cinza-claro, com fácies que incorpora material avermelhado ou marrom-avermelhado (similar ao tipo encontrado nos mármore mineralizados), exibe textura granoblástica formada, essencialmente, de grandes cristais de calcita imersos numa matriz fina argilosa (Fig.25), onde pode aparecer cristais detriticos de plagioclásio alterados para calcita, além de opacos (provavelmente grafita, sulfetos e hematita). A rocha chega a ser cortada por veio de quartzo (Fig. 25B).

A amostra de um dos leitos calcissilicáticos mostrou textura granoblástica formada, essencialmente, de: - Clinopiroxênio (diopsídio, Fig. 26) em cristais prismáticos, com incipiente alteração para carbonato, envolvendo raramente pequenas lamelas de flogopita e cristais anédricos de apatita; - flogopita em cristais tabulares (Fig. 26), não orientados, com pleocroísmo alaranjado, encerrando, localmente, inclusões diminutas de zircão com halos pleocroícos; - escapolita em cristais subédricos e anédricos de alta birrefringência, sendo comum a sua associação à flogopita e ao clinopiroxênio; - calcita em cristais subédricos, formando um mosaico e de intersticiais entre os cristais de clinopiroxênio. Como minerais acessórios e de alteração ocorrem opacos (ilmenita e magnetita) em cristais subédricos e anédricos, por vezes alterados para titanita. Soma-se ainda, as presenças de feldspato potássico e quartzo em baixíssimas porcentagens.

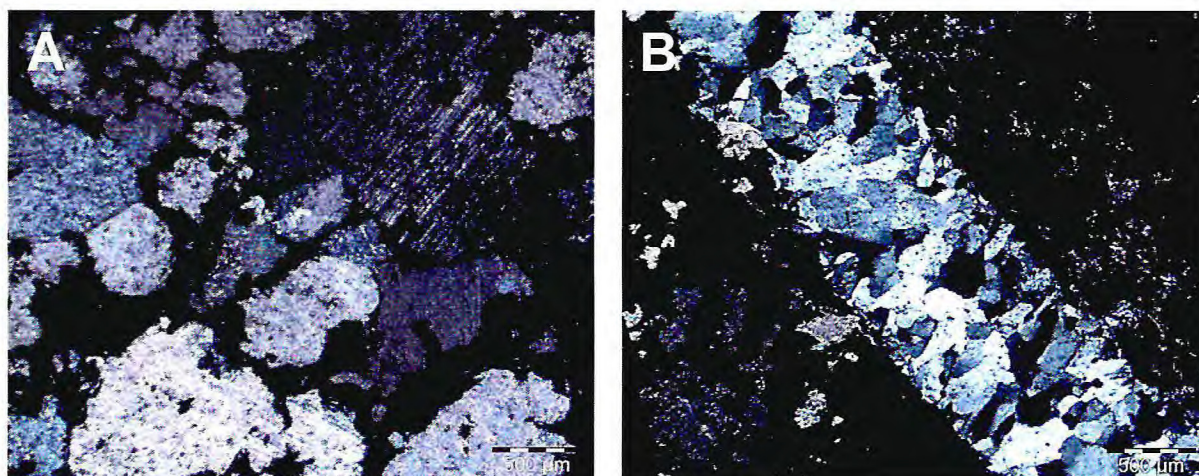


Figura 25. Fotomicrografias (LP) de exemplar de mármore da Formação Alcantil, impregnado por material róseo avermelhado (proximidades N da zona mineralizada da Jazida de Itataia: Ponto 19 no Anexo II): **A** – Destaque para os cristais de calcita (tons de cinza) imersos em matriz argilo-ferruginosa (preto), associada certamente a colofana; **B** – Veio de quartzo formado de cristais de crescimento transversal, francamente de cristalização tardia.

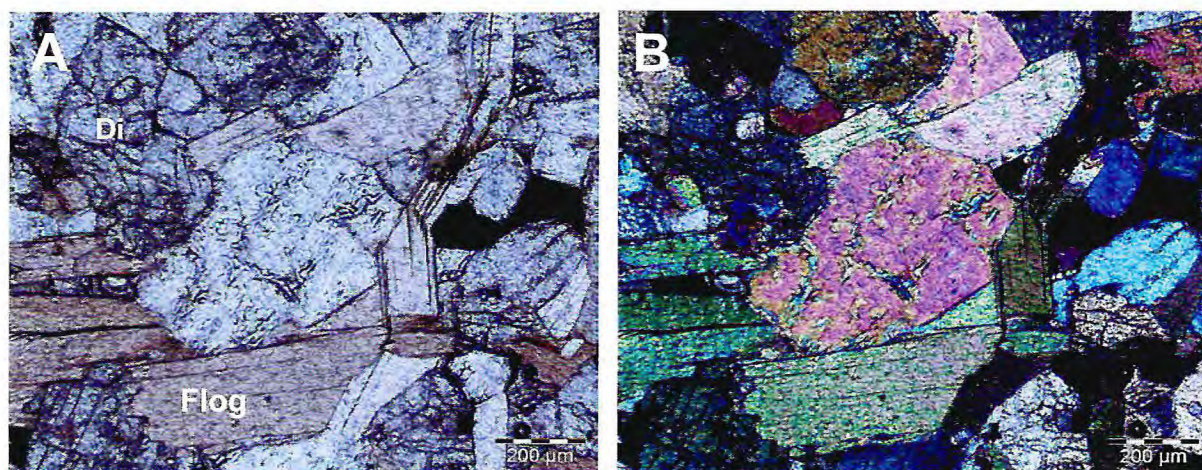


Figura 26. **A** (LN) e **B** (LP) – Fotomicrografias de rocha calcissilicática da “Formação” Alcantil, tendo como principais componentes os cristais de clinopiroxênio (diopsídio - Di) e de flogopita (Flog).

4.1.2 Leucogranitóides (Neoproterozóico-Eopaleozóico ?)

Associados aos gnaisses e metacarbonatos ocorrem, frequentemente, corpos de leucogranitóides, em parte pegmatóides ou de granulação muito grossa, aflorando tanto na forma de blocos centimétricos como métricos, quando dispostos como corpos

alongados segundo uma direção preferencial em torno de E-W (Fig. 27A). Estes, provavelmente, relacionados ao dique cartografado pelo Projeto Santa Quitéria (2013; Anexo I) como de pegmatito. Em grande parte, as relações de contato, levando-se em conta Sn das encaixantes, são de corpos dos tipos diques e *sheet* (Fig. 28A), chegando a encerrar encaves dessas encaixantes. Contudo, estreitos corpos encaixados em mármores, mostram-se bastante deformados (dobrados e boudinados; Fig 23 A e B). Também, com afloramento às proximidades do contato norte oriental da “Formação” Alcantil com a Barriga, ocorre uma variedade representada por litotipo leucocrático formado, em sua maior parte, por facóides de feldspatos (augengnaisse leucocrático; Figura 29).

Ao microscópio, esse augengnaisse encontra-se composto, predominantemente, por cristais de feldspato potássico xenoblásticos, com maclas da Albita-Periclina (xadrez) micropertíticos (Fig.30), bordas albitizadas e recristalizadas em subgrãos e com inclusões de plagioclásio, localmente alterados para muscovita. Os cristais de plagioclásios (albita-oligoclásio) são xenoblásticos, fraturados e recristalizados em subgrãos e alterados para argilominerais e sericita, localmente formando mirmequita. O quartzo encontra-se em cristais anédricos, intersticiais aos feldspatos. A biotita mostra-se em cristais tabulares e lamelares, esgarçados, com pleocroísmo castanho-avermelhado a castanho-claro (típico de altas temperaturas), associada aos feldspatos e com alteração para muscovita. Por sua vez, o zircão ocorre em cristais subédricos bem desenvolvidos, associados aos feldspatos, enquanto os opacos (provavelmente Ilmenita) apresentam-se em cristais anédricos, associado aos feldspatos e a biotita.

Um segundo tipo de leucogranitóide de composição quartzo sienítica, mostra-se constituído de cristais de feldspato potássico (58%) hipidioblásticos, com geminação segundo a Lei da Albita-Periclina (xadrez) típica do microclínio e pertíticos (Fig.31) albitizados, alteram-se para muscovita. Os cristais de plagioclásios (Albita-Oligoclásio – 24%) são hipidioblásticos, geralmente geminados segundo a Lei da Albita (simples e composta) e comumente com traços de microclínio ao longo das maclas, indicando serem Albita por substituição. Alteram-se para sericita e argilominerais. Intercrescem com quartzo formando mirmequita. Os cristais de quartzo (12%) são anédricos, por vezes tardios, intersticiais aos feldspatos potássico e plagioclásio. Muscovita (3%) ocorre localmente em cristais tabulares e lamelares, oxidados e associados aos opacos (óxido de ferro – 2%). Os cristais de opacos são de óxido de ferro (hematita-goetita) e de sulfetos (pirita e bornita).

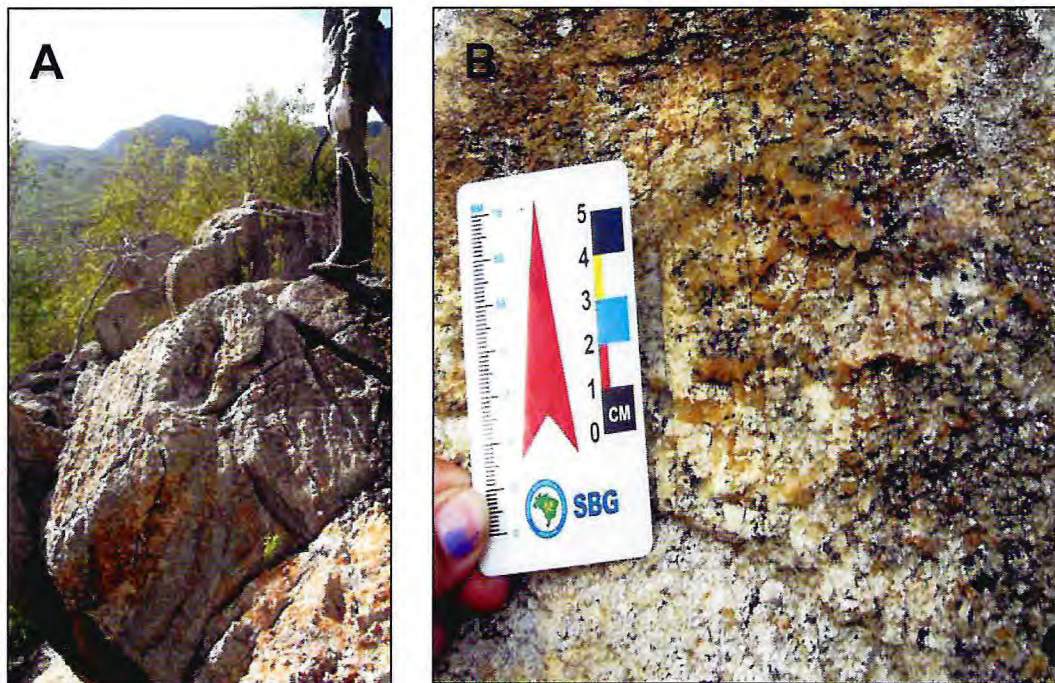


Figura 27. UTM 414595/9495249 - p. 94 – **A** – Blocos métricos de leucogranitóide relacionado a última fase de manifestação ácida que afetou o “Grupo” Itataia (alinhamento do afloramento, numa extensão de \approx 20m, segundo E-W, estando próximo do traço de contato meridional da principal área da Formação Alcantil, a SE do Serrote da Igreja); **B** – Às proximidade de **A**, detalhes da granulação grossa a muito grossa do leucogranitóide e de sua composição a feldspato, quartzo, biotita, muscovita e turmalina (magnetita?).
Fotografo: A. F. Cavalcante

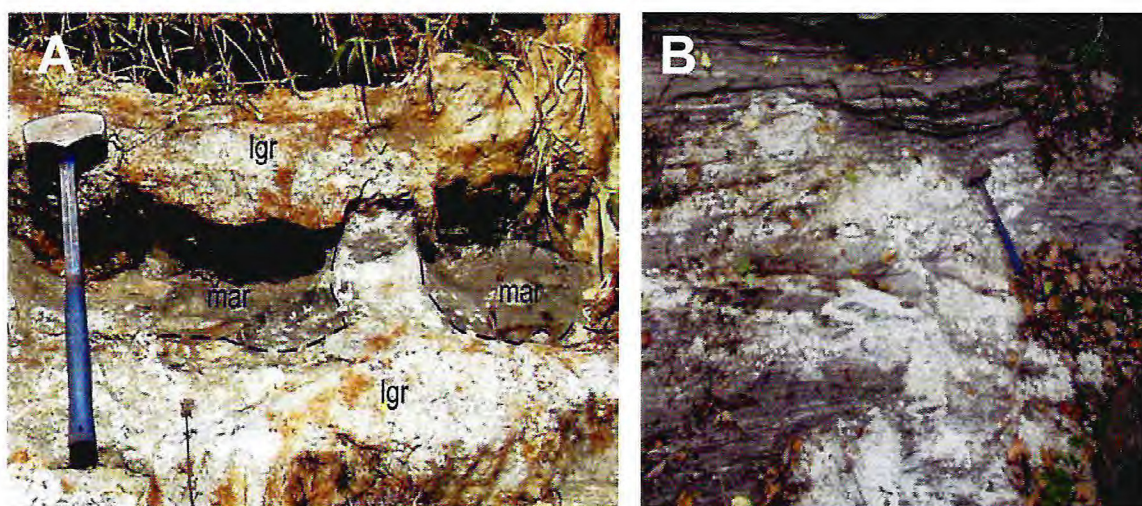


Figura 28. A – UTM 415176 9495530 – Relações de contato entre o leucogranitóide (lgr) e o mármore (mar), estando o corpo principal com direção \approx E-W (265°); **B** – UTM 416542 9496252 - Aspectos da invasão leucogranitóide no granada-biotita gnaiss migmatítico da “Formação” Barrigas (notar formas dos enclaves do gnaiss no leucogranitóide – albíta granito?). Fotografo: A. F. Cavalcante.



Figura 29. Amostra de mão (face serrada para elaboração de seção delgada) relativa a leucogranitóide deformado (biotita augengnaisse) encaixado na Formação Barrigas. Fotografo: A. F. Cavalcante.

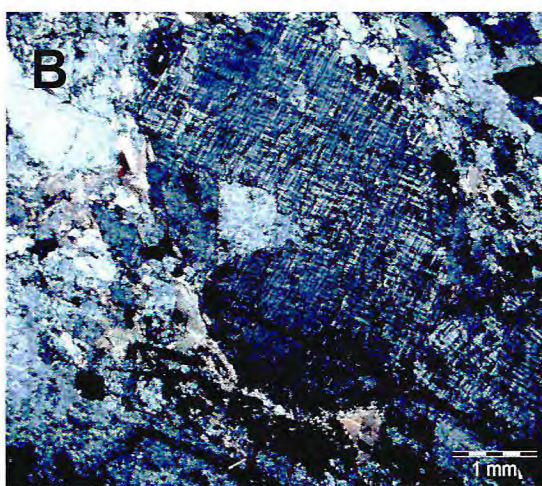
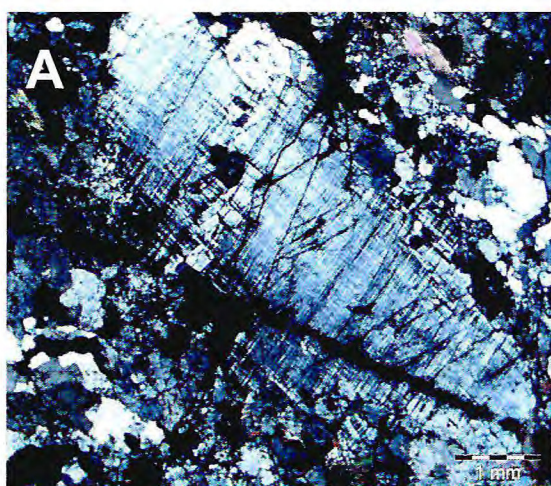


Figura 30. Fotomicrografias de augengnaisse leucocrático: **A** (LP) – Porfiroclasto de microclima fraturado; **B** (LP) – Porfiroclasto lenticular de microclina micropertítica.

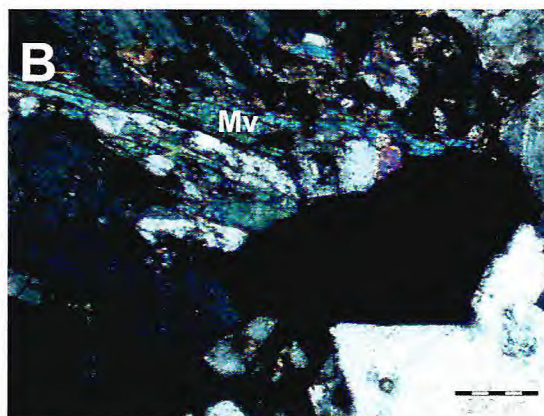
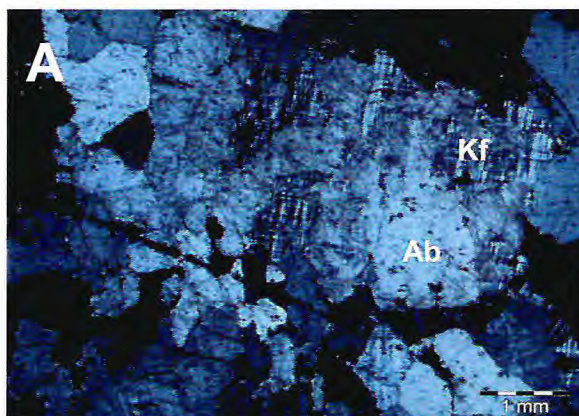


Figura 31. Fotomicrografias do leucogranitóide descrito como quartzo sienito: **A** (LP) – Realce para os cristais de feldspatos (microclina-Kfs, parcialmente albitizada-Ab); **B** (LP) – Cristais de muscovita (Mv) associados a opacos.

4.1.3 Epissienitos

Rochas descritas, no campo, como epissienitos, ocorrem em blocos de dimensões variadas e como corpos encaixados na formação metacarbonática (mármore associados a rochas calcissilicáticas), mostrando-se deformados (Fig. 32).

Tratam-se de litotipos de granulação grossa a muito grossa, ricos em cavidades, de tonalidades variando de acordo com a quantidade de material colofanítico ou ferruginoso incorporado, com o máximo no ocre-rosado e róseo-avermelhado.

Estudo micropetrográfico apresentado por Mendonça *et al.* (1984), revela tratar-se de rocha de textura granoblástica cataclasada, mantida por plagioclásio (albita-oligoclásio em cristais hipidioblásticos a xenoblásticos, bem desenvolvidos, intensamente sericitizados e argilizados), “com cavidades preenchidas ou forradas por material fosfático, associado ao quartzo, argila e carbonato”; tendo como minerais acessórios a biotita, apatita, epidoto, titanita e pirita e, como minerais de alteração, a sericita, montmorillonita, caolinita e leucoxênio. Para os mesmos autores, a análise DRX acusou a existência de fluorapatita, muscovita, montmorillonita, caolinita, feldspato, hematita e quartzo.

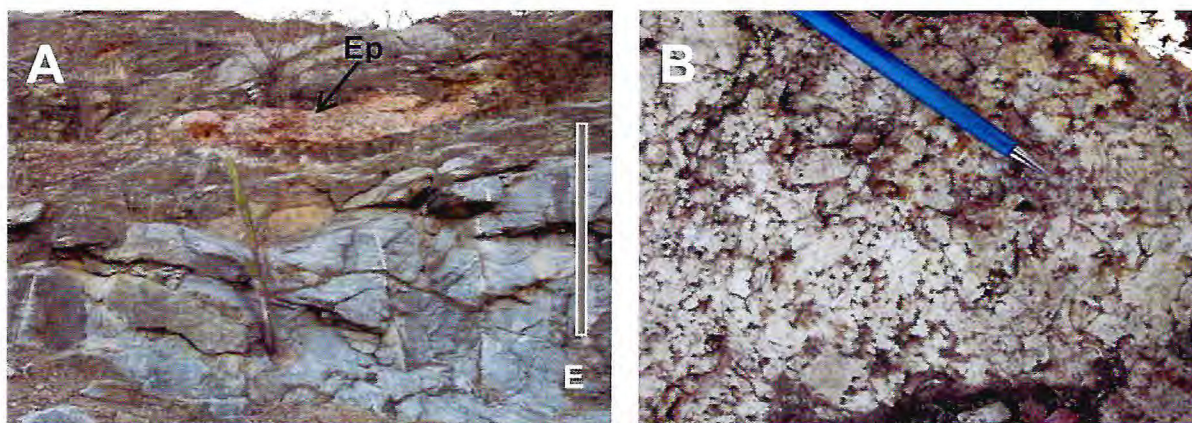


Figura 32. A - UTM 414629/9495760 – Corpo de epissienito (Ep) encaixado numa associação de rochas calcissilicáticas, mármore e gnaisses, aflorando às proximidades da entrada da Galeria 3 da Jazida de Itataia, em área mapeada como da “Formação” Alcantil (E – Escala = 1,80 m); B – UTM 413548/9496206 - Rocha leucogranitóide descrita como epissienito, sendo marcada por diversas cavidades e feldspatos de tamanhos diversos, em parte com seções quase quadradas, de tonalidade rosa pálido gradando para uma auréola esbranquiçada refletindo, certamente, um processo de albitização. Fotografo: A. F. Cavalcante.

4.1.4. Diques básicos (Cretáceo)

Na área estudada, a única ocorrência de rocha básica foi assinalada entre o Serrote da Igreja e a o sopé da Serra do Céu (ver Anexo I). Aí, tem-se blocos de diabásio, com típica esfoliação (Figura 33), distribuídos ao meio de blocos de gnaisses migmatíticos, leucogranitóides e quartzitos.

Microscopicamente, esse diabásio mostra-se constituído de cristais hipidiomórficos de plagioclásio (labradorita), com geminação Carlsbad e totalmente saussuritizados (Fig. 34) para mica fina (pininite); os cristais de clinopiroxênios (augita-diopsídio) são prismáticos e tabulares, alterados para biotita (quando associados aos opacos) e para clorita; cristais de opacos (magnetita e hematita) estão quase sempre inclusos e associados aos cristais de clinopiroxênio. São frequentes, ainda, as finas agulhas de apatita (cloroapatita?), inclusas nos feldspatos e mesmo em cristais comuns a mais de um mineral (Fig. 62).

Figura 33. UTM 415226/9496922 (Ponto 61). Bloco de diabásio esfoliado, relacionado ao magmatismo mesozoico (cretáceo) da porção setentrional da Província Borborema (Magmatismo Ceará-Mirim). Fotografia: A. F. Cavalcante



4.1.5 Depósitos sedimentares cenozóicos

Mesmo que no Mapa Geológico da área executado pelo Projeto Santa Quitéria (2013), tenha mostrado áreas cenozoicas (Quaternário) de aluviões e terraços aluviais e fluviais essencialmente arenosos, ao longo dos córregos Guaribas e Alcantil, as observações de campo, pelo menos nos sítios visitados, apontam para uma marcante irregularidade desses depósitos, onde porções de afloramentos de rochas se alternam.

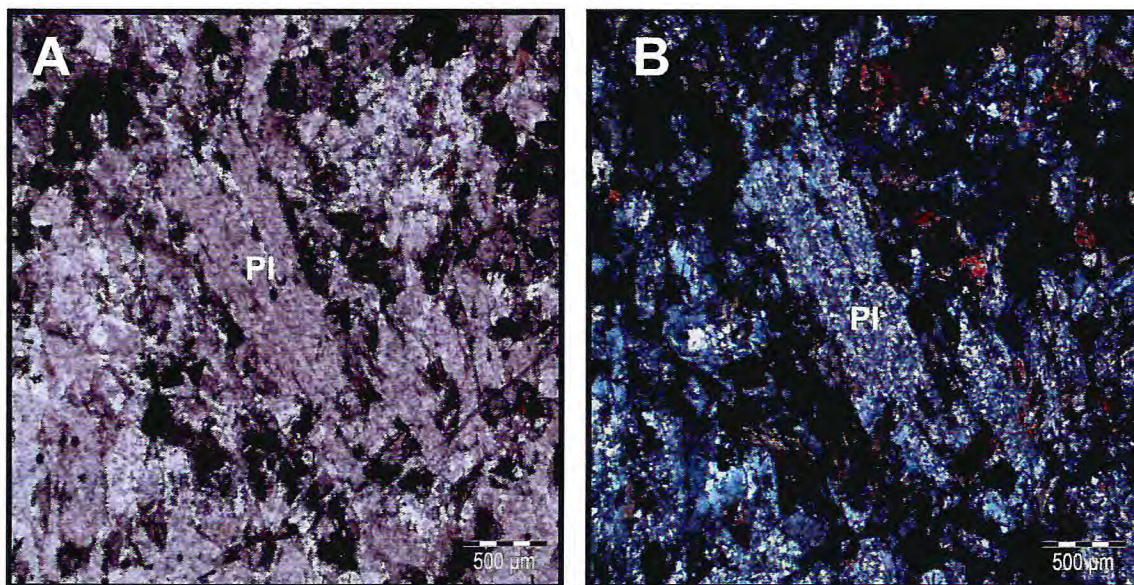


Figura 34. A (LN) e B (LP) - Fotomicrografias de uma seção delgada da rocha ígnea hipoabissal de composição básica (Fig.33), classificada como diabásio, de textura subofítica, onde destaca-se a predominância de cristais hipidiomórficos de feldspatos (plagioclásio - PI) saussuritizados. Fotografia: A. F. Cavalcante.

com aqueles dessas coberturas superficiais, por vezes dominando as rochas expostas (lajeado e/ou blocos, Fig. 35). Além disto, pode-se registrar áreas de exposições de coberturas aluvio-coluviais e eluviões em diversos pontos, especialmente entre o Serrote da Igreja e a Serra do Céu, contudo para o seu mapeamento se faz necessário um trabalho de maior detalhe ou mesmo específico.

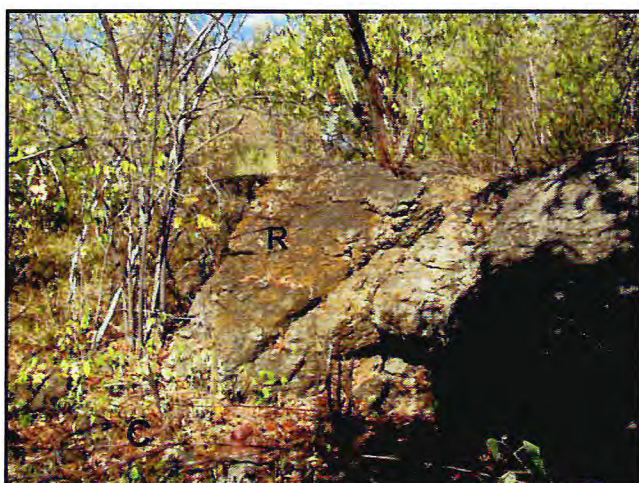


Figura 35. UTM 415073/9492248. Cenário de um segmento cartografado, anteriormente, como de aluviões e terraços aluviais e fluviais essencialmente arenosos, ao longo do córrego Guaribas, onde registra-se o predomínio do afloramento rochoso (R) sobre a cobertura superficial (C). Fotografia: A. F. Cavalcante.

Ainda, como depósitos cenozoicos, destaca-se as ocorrências de tufas. Na área, ocorrem, predominantemente, na região ocupada pelo Serrote (Serra) do Canudo, denunciando condições de mais alto gradiente hidráulico (levando-se em conta os desníveis altimétricos x turbulência), em determinado período úmido. Por sua vez, nas tufas calcárias a precipitação da calcita se processa quando o CO₂ é liberado da solução com ions de Ca e ácido carbônico.

Dessas tufas, registram-se diversos blocos centimétricos e afloramentos extensos marcados pela presença de materiais orgânicos, tais como folhas vegetais. Ainda, servem de suportes para o desenvolvimento de espécies arbustíferas de pequeno porte (Fig. 36).

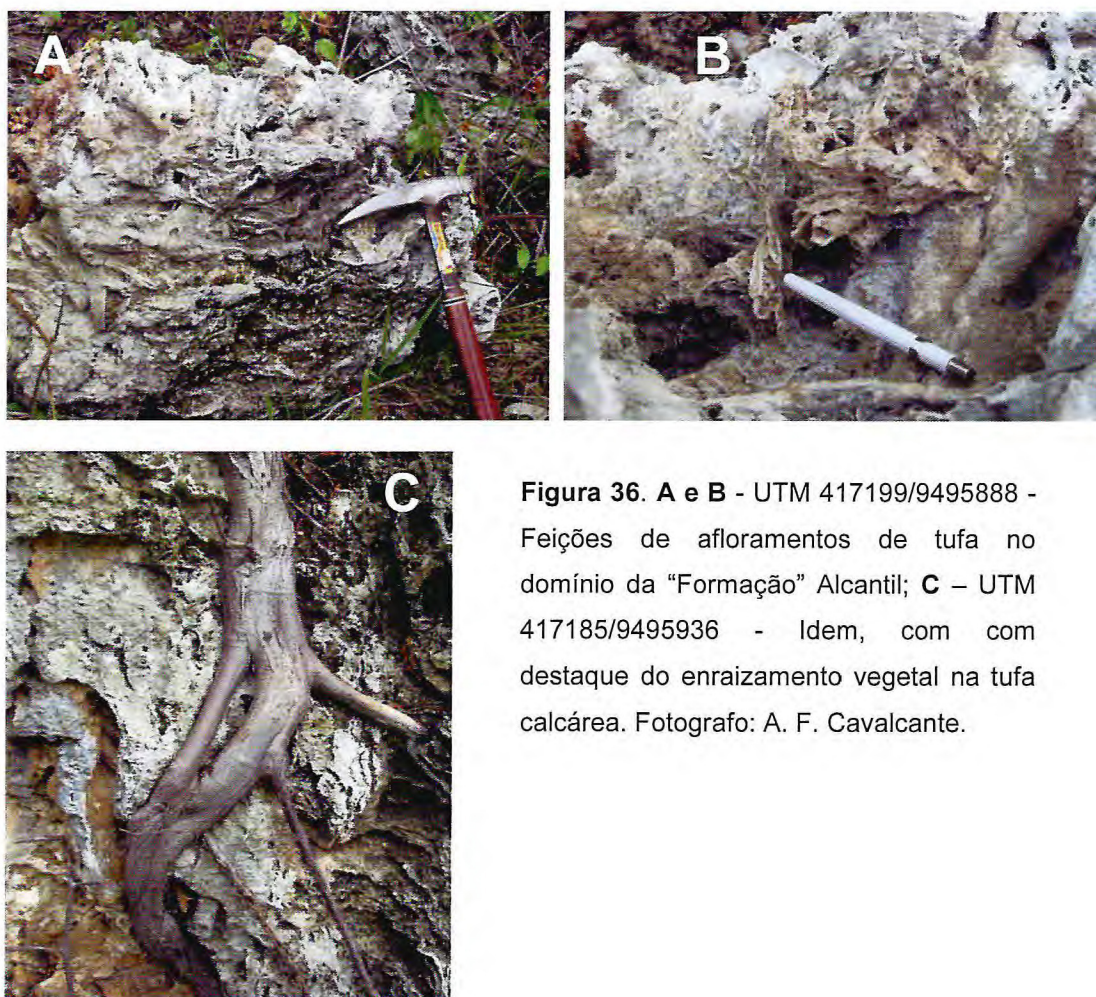


Figura 36. **A e B** - UTM 417199/9495888 - Feições de afloramentos de tufa no domínio da "Formação" Alcantil; **C** - UTM 417185/9495936 - Idem, com destaque do enraizamento vegetal na tufa calcárea. Fotografo: A. F. Cavalcante.

4.2. Geologia Estrutural

No arranjo tectono-estrutural regional, a área de Itataia encontra-se inserida na chamada *Nappe* de Itatira, desenvolvida em tempos neoproterozóicos e cuja colocação final aconteceu sob condições de fácies anfíbolito de temperatura relativamente baixa (Arthaud, 2007).

4.2.1. Foliações e dobras

Em rochas de todas as “formações”, a foliação mais persistente é a S_n , paralela ou não a um S_{n-1} (Fig. 37) ou um bandamento gnáissico ou composicional. Na sequência carbonática (mármore x calcissilicáticas), o bandamento composicional aponta para um S_{n-1}/S_0 . Em diversos pontos, os gnaisses migmatíticos exibem S_n como superfícies que marcam um intenso e extensivo processo de transposição estrutural.

Pelo lado das dobras, tratando-se das mais antigas, só foram observadas aquelas relativas a fase de dobramentos ligada a geração de S_n (F_n), com comprimentos de ondas de centímetros a metros (Figs. 37 e 38), onde intrafoliais ladeadas por S_n/S_{n-1} podem ser observadas (Fig. 38C). Estas dobras exibem, geralmente, superfícies axiais de baixos ângulos (dobras suaves a recumbentes) e com vergência média para SSE. Decorrentes de uma fase subsequente (D_{n+1}), ocorrem dobras abertas (Fig.39) relacionadas a uma ampla antiforma, provavelmente sinclinorial. Associando-se essas dobras de D_{n+1} com aquelas de D_n , pode-se obter uma figura de interferência do tipo laço (Fig. 40).

Em termos da escala do mapeamento (1:20.000; Anexo 1), assinala-se, em termos bibliográficos, a antiforma do Riacho Alcantil marcada, inicialmente, por Mendonça *et al.* (1982). Contudo, os dados de campo sinalizam para uma sucessão de pequenas antiformas e sinformas inclinadas, com vergências para os quadrantes SE e SW. Aí, eixos de dobras de F_n (redobradas por F_{n+1}), medidos na porção oriental, exibem atitudes em torno de 80/10.

Em projeção estereográfica (Rede de Schmidt ou de igual área), as foliações S_n registradas no campo (Fig. 40) revelam uma principal área de concentração de polos no hemisfério norte (\approx centralizada no polo 351/68), com uma área, também importante, no hemisfério sul (\approx centralizada no polo 223/66). Estes polos relacionam-se aos planos

PI1= 81/21S e PI2 = 313,0/24N (*strike* e *dip*), cujo tratamento apontam para dobra com atitude (*trend* e *plunge*) do eixo = 109,2/10,2, *strike* e *dip* do plano axial = 108,8/88,4S e ângulo obtuso interlimbo = 139,6°. Enquanto isto, para foliações (Sn) da porção meridional da área estudada (domínio metacarbonático; Fig.7), incluindo dados de superfície e de subsuperfície (Galeria G1- Nuclebrás/INB), define-se planos com atitudes (*Strike* e *dip*) PI1 = 289/27S e PI2 = 64/19N que podem ser relacionados a uma dobra com *trend* e *plunge* do eixo = 091,1/08,9, *strike* e *dip* do plano axial = 090,5/ 86,0 S e ângulo obtuso interlimbo = 137,8° (Fig. 41). Por sua vez, quando considerados somente os da Galeria G1 (\approx perpendicular aos traços de foliação; Fig.43), tem-se em destaque uma área de máximo de polos, indicando um plano definido com *strike* 285° / *dip* 27°N.

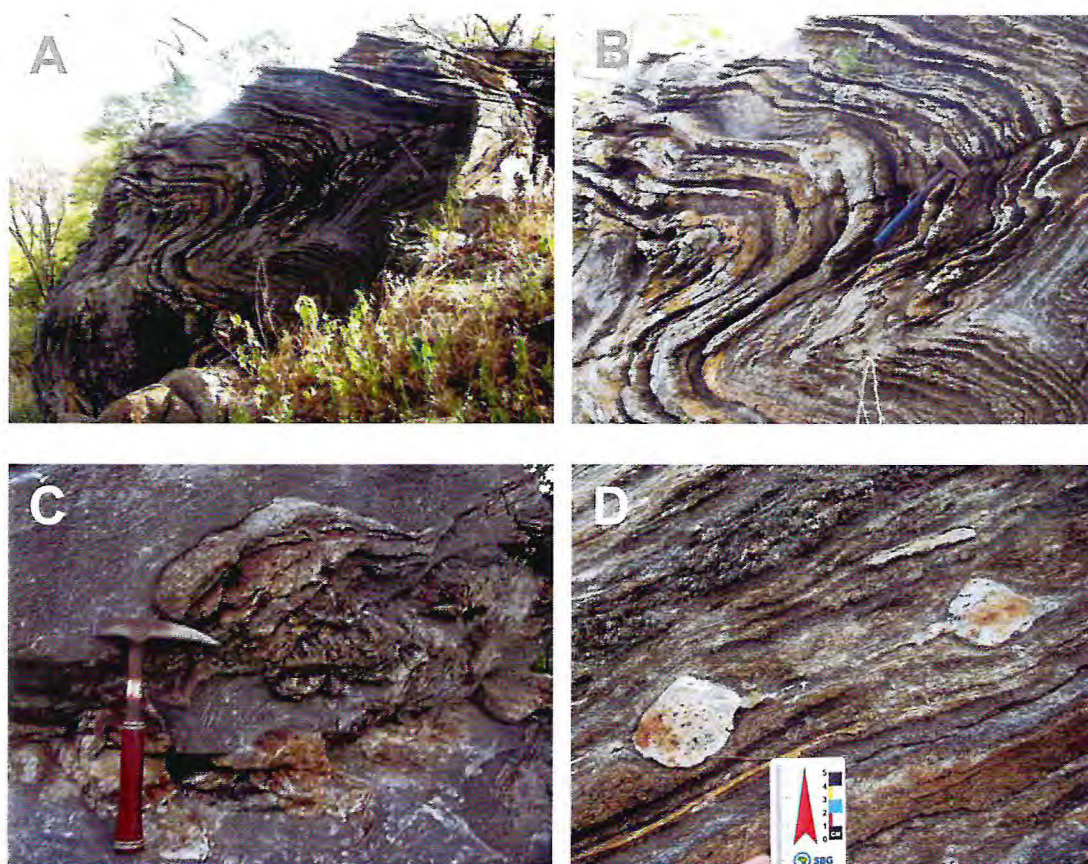


Figura 37. **A e B** – UTM 414417/9495458 - Dobras de inclinação suave a recumbentes, envolvendo rochas metacarbonáticas da “Formação” Alcantil, destacando-se o bandamento composicional entre leitos mais e menos impuros, os traços da foliação Sn-1//S0 e de superfícies plano-axiais (Sn) e dobras de flancos (Z e S); **C** – UTM 414770 / 9495449 Dobra intrafoliar e *boudins* de material mais competente (com colofana?) inseridos em rocha metacarbonática (mármore) mais pura; **D** – UTM 414417/9495458 - *Boudins* de rocha leucocrática mais competente envolvidos pelos leitos metacarbonáticos e revelando um provável desenvolvimento quando do processo deformacional Dn.

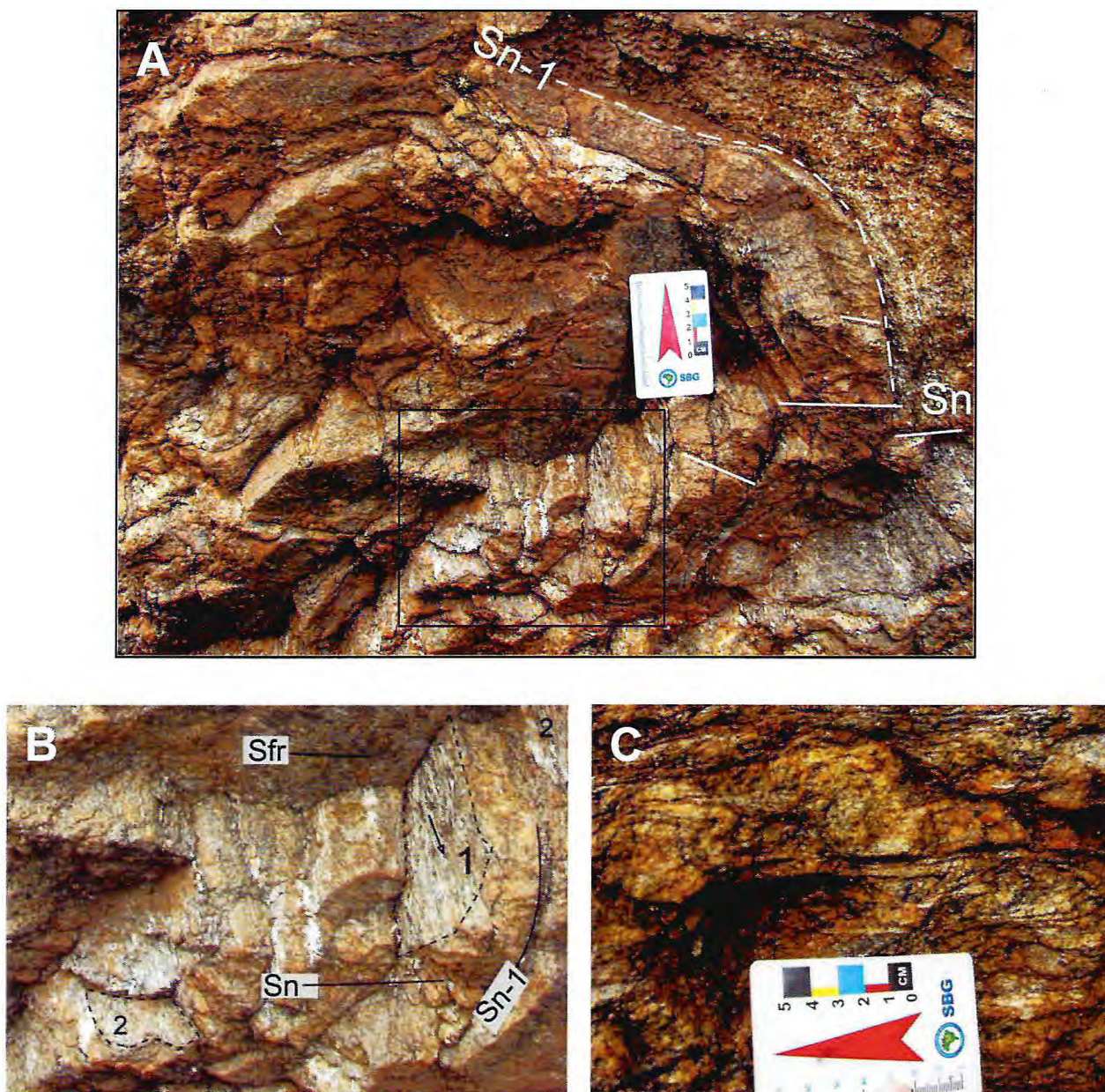


Figura 38. Ponto 16. UTM 414773/9495191. **A** – Parte de um afloramento de migmatito paraderivado dobrado (dobra suave a recumbente), onde destacam-se o predomínio de leitos leucranitóides intercalados a estreitos e irregulares níveis formados de biotita, muscovita, sillimanita (fibrolita), granada, feldspato e quartzo; **B** – Vista aproximada de uma fração de A (retângulo), destacando-se a presença de lentes e manchas félsicas, por vezes envolvendo cristais de granada (almandina?), onde encontram-se os cristais de fibrolita, tanto em Sn-1 (1), como em Sn (2), estabelecendo uma lineação aparentemente paralela ao eixo da dobra, além de um marcante sistema de fraturas (Sfr); **C** - .Do mesmo afloramento, dobras Z e intrafoliar isoclinal. Medidas de lineações: - Mineral = 100/23; eixo de dobra = 89/08 e 200/10.



Figura 39. Ponto 02 – UTM 414250 / 9495481. Visão no sentido W-SW. Dobra antiformal aberta (F_{n+1}), quase simétrica (cilíndrica), envolvendo mármore da Formação Alcantil; a esquerda, projeção estereográfica para os planos $P1 = 335/30$ e $P2 = 156/24$: - *Trend e plunge* do eixo da dobra = $245,4/00,3$; *strike e dip* do plano axial = $245,3/ 67,8$ N; ângulo interlimbo = $54,0^\circ$. Obs: - Fragmentos de colofanito sobre a superfície. Fotógrafo: A. F. Cavalcante (05/2015).

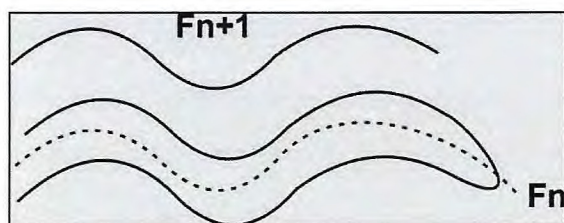


Figura 40. Esquema para interferência de dobramentos do tipo laço envolvendo dobras F_n (Figs. 37A e B) superpostas por dobras F_{n+1} (Fig.39).

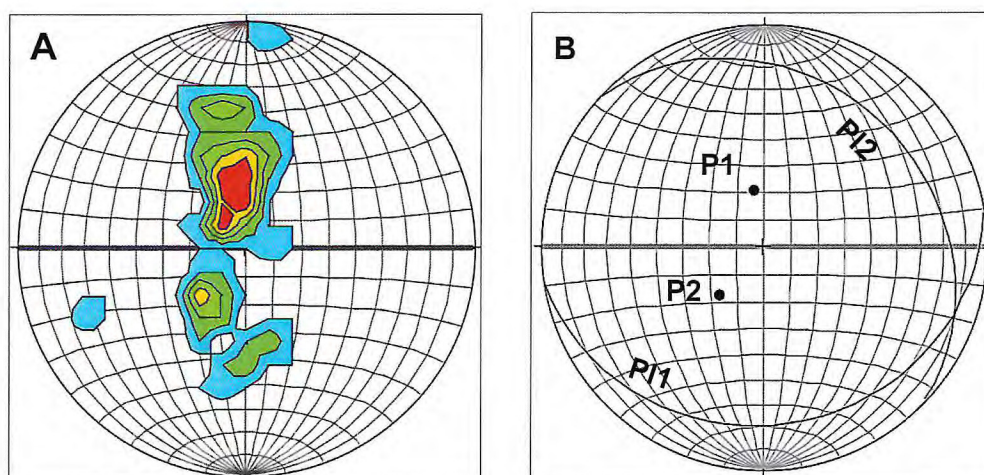


Figura 41. **A** – Projeção estereográfica de polos calculados para 51 atitudes da foliação S_n , relativas ao levantamento de campo (*Contour Int.* = 2%; *Counting Area* = 1% of net área); **B** - Planos de polos das áreas de máximos ($P1$ e $P2$; atitudes dos planos: $P1 = 81/21S$; $P2 = 313,0/24N$): *Trend e plunge* do eixo da dobra = $109,2/10,2$; *strike e dip* do plano axial = $108,8/88,4S$; ângulo interlimbo = $139,6$.

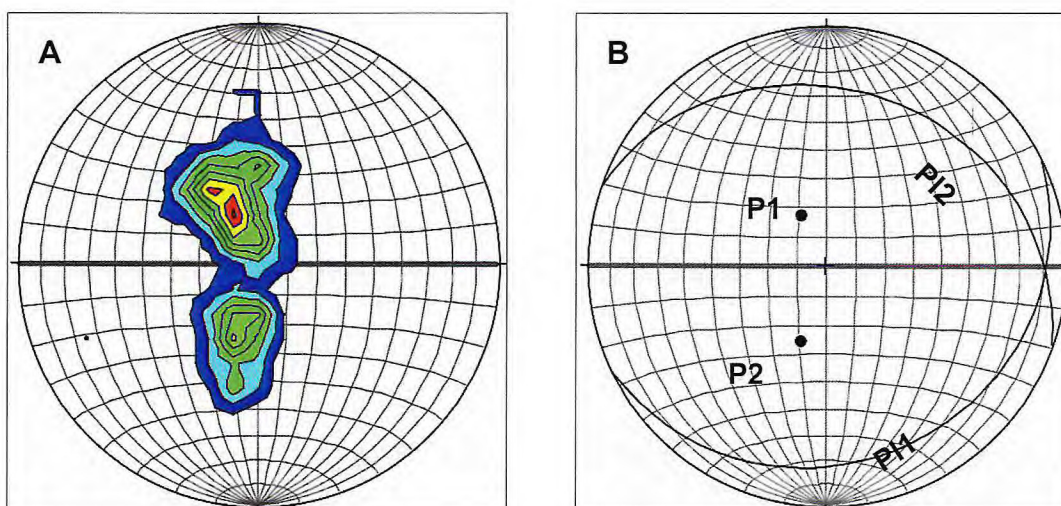


Figura 42. **A** - Estereograma envolvendo os polos de foliação da porção meridional da área estudada (Fig.), incluindo dados de superfície e de subsuperfícies (Galeria G1 da Nuclebrás –INB); *Contour Int.* = 2%; *Counting Area* = 1% of net área . **B** – Planos (P11 e P12) relacionados a polos (P1 = 334,80/71,12 e P2 = 199,13/63,83) de áreas de máximos (%) de **A**, com atitudes (*strike* e *dip*) P11 = 289/27 e P12 = 64/19. *Trend* e *plunge* do eixo da dobra = 91,1/8,9; *strike* e *dip* do plano axial = 90,5/ 86,0 S; ângulo obtuso interlimbo = 137,8°.

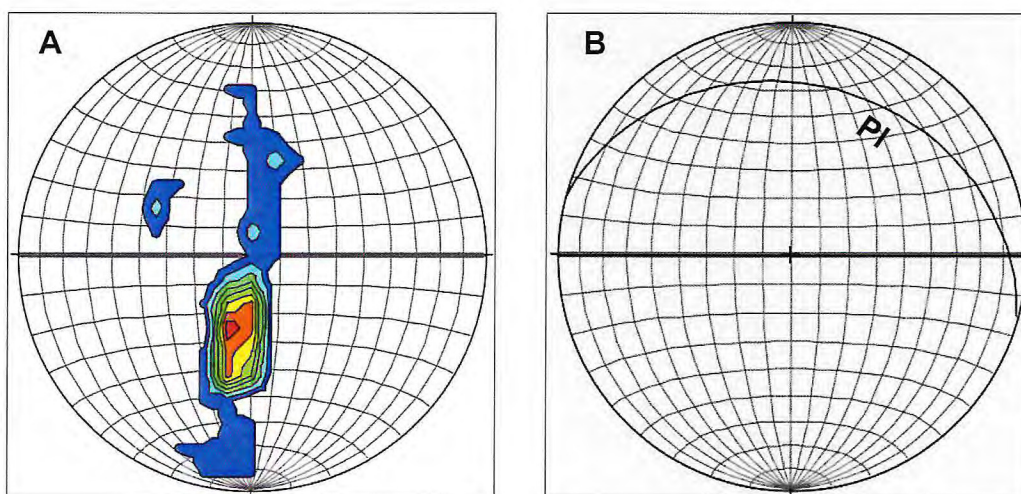


Figura 43. **A** - Projeção estereográfica envolvendo os polos de 27 superfícies de foliação da **Galeria G1** (Fig.44 - Nuclebrás); **B** – Plano (P1) para o polo central (195/63) da área de máximo de **A** = *strike* 285° / *dip* 27° . *Contour Int.* = 2%; *Counting Area* = 1% of net área.

4.2.2. Lineações minerais e boudins

As lineações registradas no campo foram relacionadas a minerais, tais como sillimanita (fibrolita), quartzo e feldspato, em unidades individuais ou associados (por vezes em formas aproximadamente lenticulares, envolvendo porfiroblastos/porfiroclastos de granadas). Estas fornecem uma atitude média de 15/110 (obs: lineações, não especificadas, assinaladas na Fig. 43 mostram atitudes similares e até de maior valor – 24/130 – onde a foliação também tem mergulho mais forte – 47°).

Boudins são corriqueiramente observados no domínio das rochas metacarbonáticas, em especial nas partes onde ocorrem leitos ou corpos mais competentes (Fig. 45), chegando a uma geometria de flancos desmembrados de dobras intrafoliais.

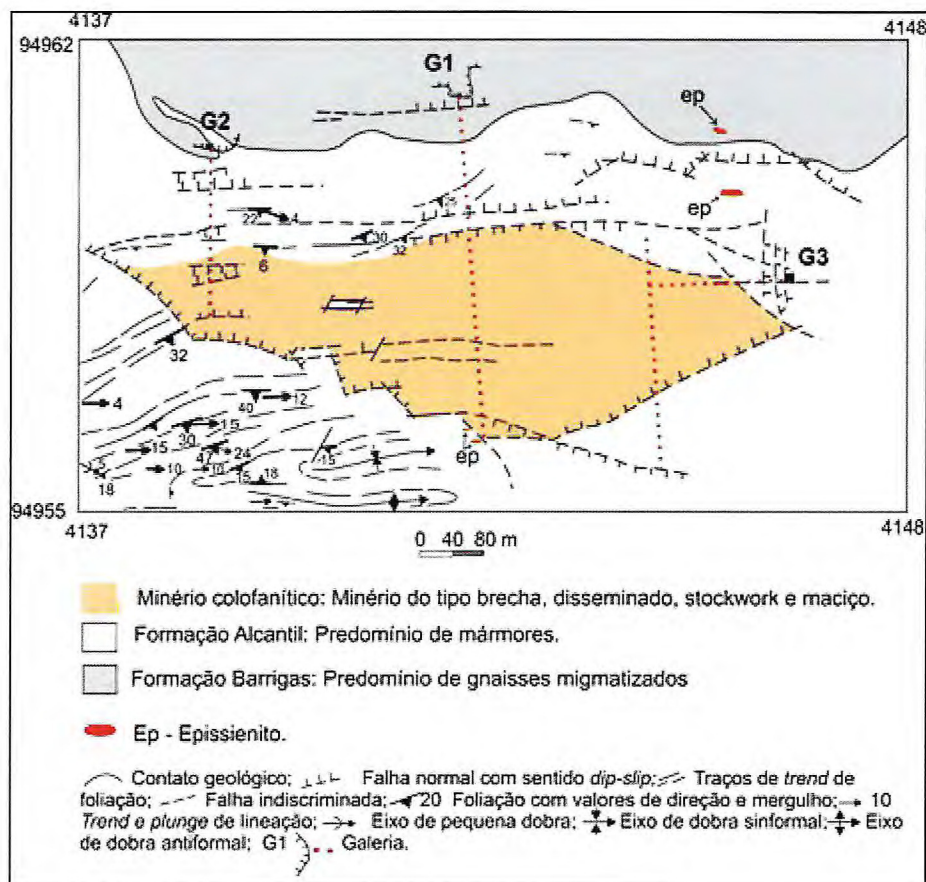


Figura 44. Mapa geológico da área da Jazida Fósforo-uranífera de Itataia (compilado de Mendonça et al., 1980, com eliminação das coberturas superficiais cenozoicas e das áreas de minério maciço).

Em relação as rochas gnáissicas migmatizadas, encontram-se leucossomas quartzo-feldspáticos, com ou sem granadas, boudinados quando do desenvolvimento da transposição imposta pela deformação Dn. Leitões silicosos nos paragneisses Serra do Céu e corpos (diques-*sheets*?) de leucogranitóides em mármore, mostram-se desde discreta (**Fig. 45A**) até complexamente boudinados (**Fig. 45B**), onde assinalam-se formas arredondadas, lenticulares e poligonais (estas com limites que apontam para um desmembramento frágil (**Fig. 45D**)).

4.2.3. Zonas de cisalhamento dúctil

A única zona de cisalhamento delineada no mapa geológico (Anexo I), refere-se a da Serra do Céu, que foi compilada do Projeto Santa Quitéria (2013); sendo a mesma registrada desde a década de 1980, através dos trabalhos da NUCLEBRAS, como contato entre as formações Barrigas e Serra do Céu. Contudo, no presente estudo, não foi possível obter-se informações sobre a mesma. O único registro de milonitos refere-se a uma rocha que aflora às imediações do contato da Formação Barrigas com a Alcantil.

4.2.4. Falhas e fraturas

Evidências de falhas de pequenos rejeitos são observadas em diversos pontos, principalmente no domínio da Formação Alcantil.

Diversos trabalhos relacionados à região de Itataia (Fig. 44, Anexo II) desenham grande parte dos limites do principal corpo mineralizado a U-P como de falhas normais. Em fotografias aéreas convencionais, assinalam-se alinhamentos, em torno de E-W, principalmente entre o Serrote da Igreja- Serra do Canudo e a Serra do Céu, que sugerem traços de falhas. Enquanto isto, as fraturas são presentes em quase todos os afloramentos descritos, constituindo sistemas NE, NW e em torno de E-W, chegando a ser realçados em algumas exposições de mármore, em decorrência dos processos de dissolução dos carbonatos (carstificação)

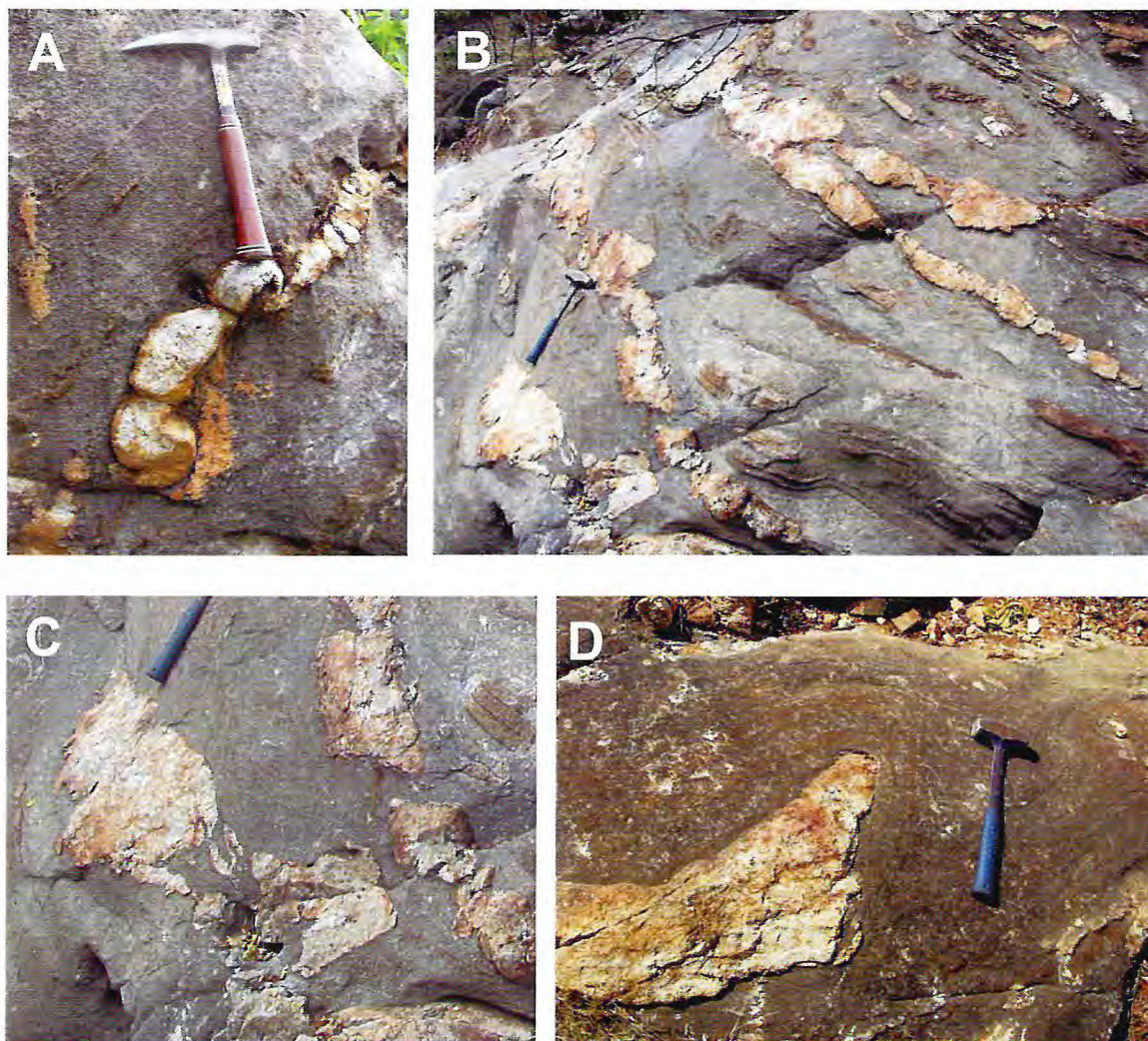


Figura 45. Aspectos geométricos do desmembramento de leucogranitóides encaixados em mármore da “Formação” Alcantil, realçando o contraste de competência (reologia) entre estas rochas: A – UTM 416604/9495727 - Segmento sem importante afastamento entre os boudins (faturamento interboudins); B – UTM 415176/9495530- Visão ampla entre as diversas formas de *boudins*, mostrando assimetria dextral; C – Parte de B onde um segmento mais afinado do leucogranitóide foi fragmentado e dobrado; D – UTM 415024/9495490- Feições de um *boudin*, marcado por um limite oriental que admite um deformação frágil, enquanto o mármore revela condições dúctil/plásticas (dobras).

Em projeção estereográfica (Rede de Schmidt ou de igual área), os parâmetros de fraturas registradas pela NUCLEBRAS, em rochas da Galeria 1 (Fig. 46), revelam tendências médias (estatísticas) de planos *Strike* e *dip* de 145/76, 320/83 e 281/66, correspondendo, assim, a uma predominância dos sistemas NW (Fig. 46B). Os mesmos dados plotados em Diagrama Roseta revela uma maior concentração (12%) entre 291 de 300° Az (Fig 46C), enquanto os valores das fraturas da Galeria 2 (Fig. 47), apresentam o

valor máximo, de 18.75%, entre 301 e 310° (Fig.47C); ficando o da Galeria 3 (máx. de 12,90%) entre 81° e 90° (Fig. 48). Quando envolvendo atitudes de fraturas registradas em superfície e subsuperfícies (galerias G1-G2-G3), obtém-se um máximo de 8.2%, no mesmo intervalo anterior ou seja entre 81° e 90° (Fig. 49). Em síntese, os sistemas principais são os NW e aqueles em torno de E-W.

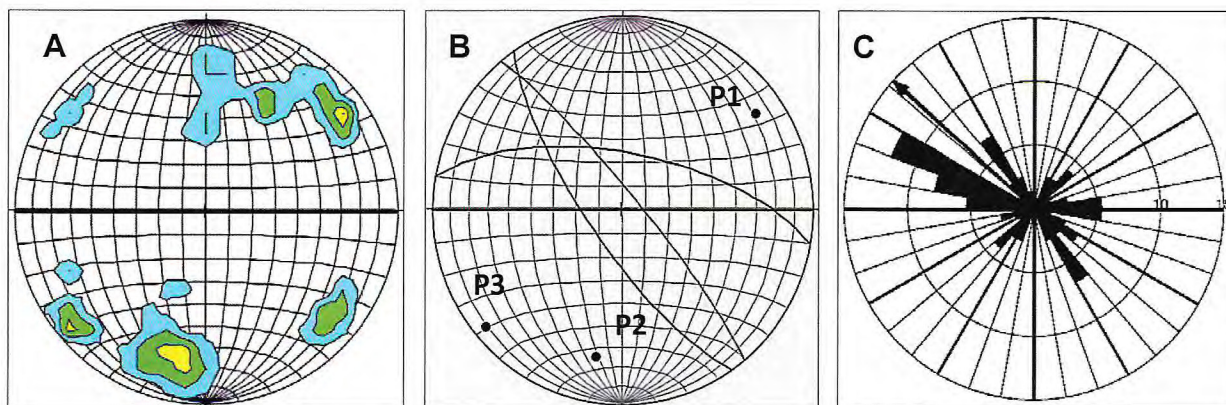


Figura 46. A - Projeção estereográfica envolvendo polos calculados de 75 superfícies de fraturas da Galeria G1 (Nuclebras). B - Polos de centro das áreas de máximos de A: P1 = 55/15°; P2 = 191/25°; P3 = 229/07°; B - *Strike e dip* dos planos: P11 = 145/76, P12 = 281/66; P13 = 320/83; Ângulo entre os planos e linhas de intersecções (Li): P11-P12 = 122,6° ou 57,4° , Li = 309,5/47°; P11-P13 = 158,4° ou 21,6°, Li = 321,6/13,2°; C – Diagrama roseta para as mesmas superfícies de A, onde o valor máximo de 12% encontra-se entre 291° e 300°. *Mean Vec* = 311,9° . *Average Length* = 0,096.

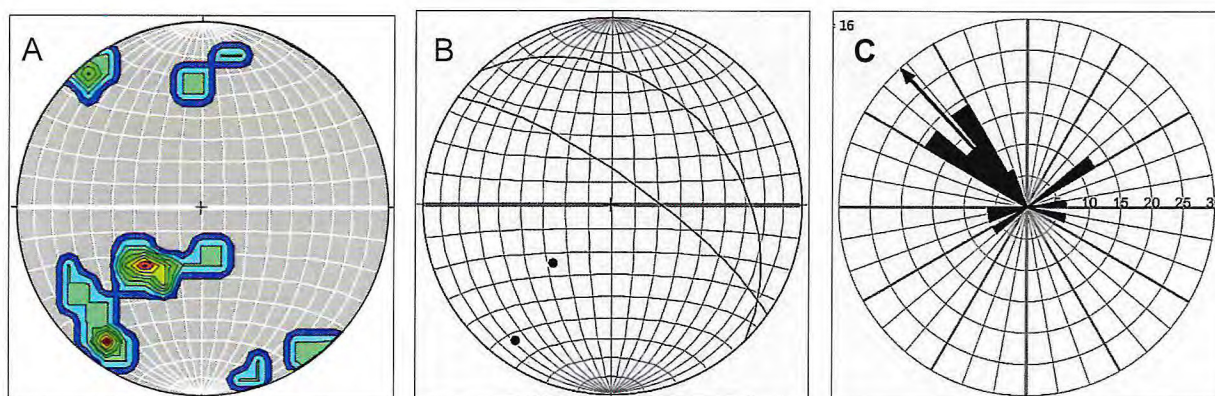


Figura 47. A - Projeção estereográfica envolvendo polos calculados de 16 superfícies de fraturas da Galeria G2 (Nuclebras); *contour Int.* = 2%; *counting area* = 1% of net area. B - Polos de centro das áreas de máximos: P1 = 225/54; P2 = 215/13; *strike e dip* dos planos relacionados aos polos P1 e P2: P11 = 315/36N; P12 = 305/77N; ângulo obtuso interplanos = 138,9°; linha de intersecção interplanos = 123/8,6. C – Diagrama de roseta para as mesmas superfícies de A, onde o valor máximo de 18.75% encontra-se entre 301 e 310°. *Mean Vec* = 317,5°. *Average Length* = 0,5345. 089,0 degr, 52,0 degr and 356,0 degr, 71,0 degr

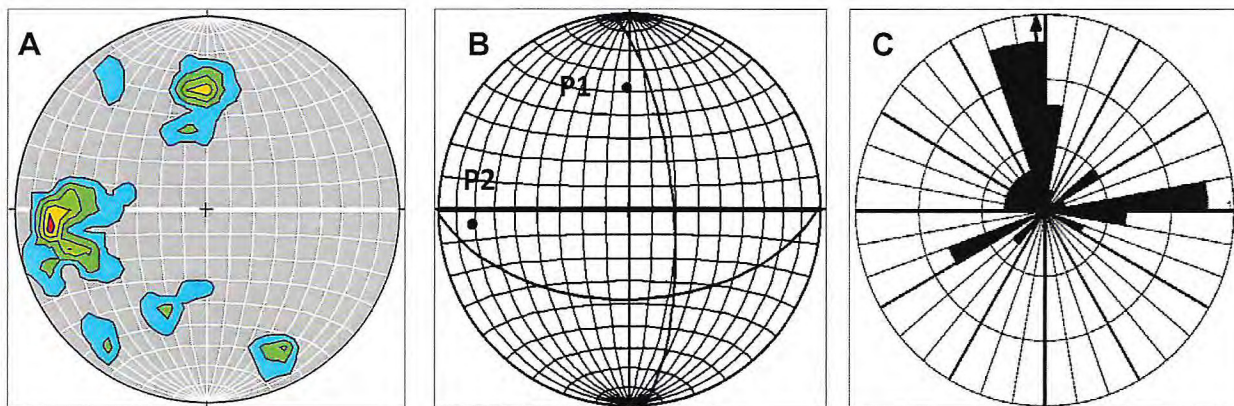


Figura 48. **A** - Projeção estereográfica envolvendo polos calculados de 63 superfícies de fraturas da Galeria G3 (Nuclebras), *contour Int.* = 2%; *counting area* = 1% of net área. **B** - Polos de centro das áreas de máximos: P1 = 265/19°; P2 = 259/38°; *strike e dip* dos planos relacionados aos polos P1 e P2: P1 = 355/71E, P2 = 89/52S; ângulo interplanos = 81,5° ou 98,5°; linha de interseção = 151,9/48,7; **C** – Diagrama de roseta para as mesmas superfícies de **A**, onde o valor máximo de 12,90% encontra-se entre 81° e 90°. *Mean Vec*=357°; *Average Length* =0,4418.

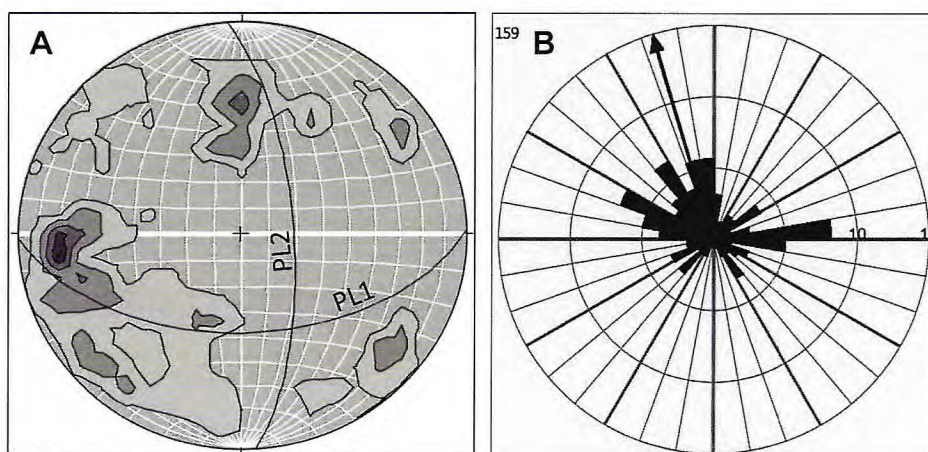


Figura 49. **A** - Polos calculados para 159 planos de fraturas, envolvidos dados de superfície e subsuperfícies (galerias G1-G2-G3; **Fig.**); *Contour Int.* = 2%; *Counting Area* = 1% da área da rede; *strike e dip* de planos de polos de máximos PL1- 89/52S e PL2 = 356/71E; linha de interseção PL1 X PL2 = 98,1/54,7; ângulo obtuso interplanos = 99,3°. **B** - Digrama roseta dos planos de fraturas de A: Valor máximo = 8.2% entre os 81° e 90° ; vetor médio 343,4° ; comprimento médio = 0,2652.

5. Metamorfismo

Para a região do Grupo (Complexo) Ceará estudada por Arthaud (2007), onde insere-se a área do presente trabalho (Subunidade Itatira = parte do “Grupo” Itataia), as sub-unidades litoestratigráficas “apresentam notáveis diferenças em sua evolução metamórfica”, incluindo rochas descritas como retroeclogitos e prováveis xistos brancos (cianita xistos). Nesse contexto, a Subunidade Itatira apresenta “na base, próximo ao contato tectônico com a Subunidade Guia, cianita e sillimanita geralmente coexistindo; sendo que a sillimanita está presente em planos tardios de cisalhamento subparalelos à foliação principal que contêm cianita, mostrando o seu caráter tardio”.

Em termos da área estudada, as rochas gnáissico-migmatíticas, principalmente de protólitos metapelíticos, encerram paragênese de alto grau metamórfico (fácies anfibolito) responsável pelo aparecimento de biotita + feldspato + granada + sillimanita. Com este último mineral desenvolvido em superfícies de Sn e Sn-1, apontando crescimento conforme a reação de alto grau envolvendo rocha pelítica: $Ms + Qtz = Kfs + Sil + H_2O$ (Fig. 50). Para milonitos desses gnaisses, foi descrito exemplar com alta porcentagem de sillimanita (fibrolita) e biotita titanífera, revelando que o processo de cisalhamento dúctil se desenvolveu em temperaturas da fácies anfibolito. .

Também, deve-se salientar que a formação de material de fusão por quebra da muscovita, em ambiente com excesso de vapor (H_2O), acontece segundo a equação: $Ms + Ab + Qtz + H_2O = Al_2SiO_5 + L$ (Spear *et al.*, 1999).

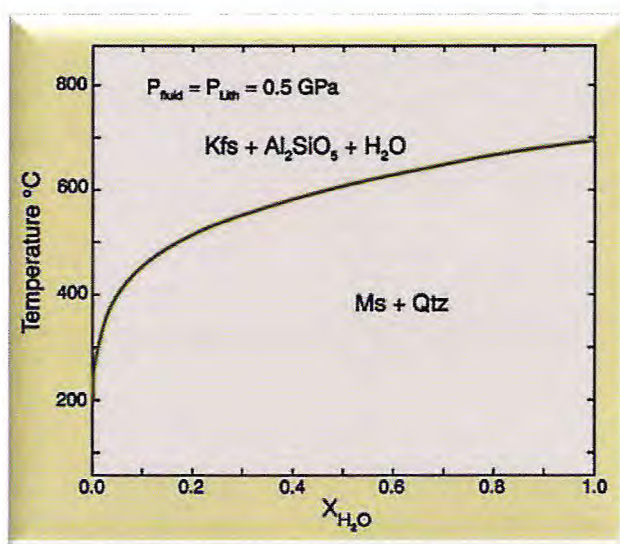


Figura 50. Reação de desidratação: $KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$ (Ms) + SiO_2 (Qtz) \Rightarrow $KAlSi_3O_8$ (Kfs) + $AlSiO_5$ (Sill) + H_2O (Água).

Reação que ocorre a baixa T, se for acrescido CO_2 , isto é $X_{H_2O} < 1$.

Nesses gnaisses migmatíticos, a granada ocorre associada tanto aos leucossomas como aos melanossomas e mesossomas, chegando a se mostrar fraturada e com inclusões e envoltórias de biotita \pm sillimanita (Fig. 51). O caso da granada em melanossoma tem sido apontado como reflexo da reação biotita + sillimanita = granada + melt (Spear *et al.*, 1999), correspondendo à reação inversa/retrógrada de fusão pela desidratação da biotita; enquanto no neossoma pode corresponder, em certa parte, a uma reabsorção durante a passagem progradional e retrogradacional do contínuo da reação de fusão pela desidratação da biotita.

Para situações onde o melanossoma não é desenvolvido, na qual a rocha tem baixa porcentagem de minerais ferromagnesianos, tem sido sugerido que a formação da granada decorre da reação $Bt + Qtz + Ms \rightarrow Grt + K-fld + H_2O$.

A presença de porfiroblastos de granada não envolvidas por material de fusão, sugere que a rocha parou de sofrer fusão parcial, iniciando, certamente um processo retrogressivo nas condições de temperatura e pressão de fluídos.

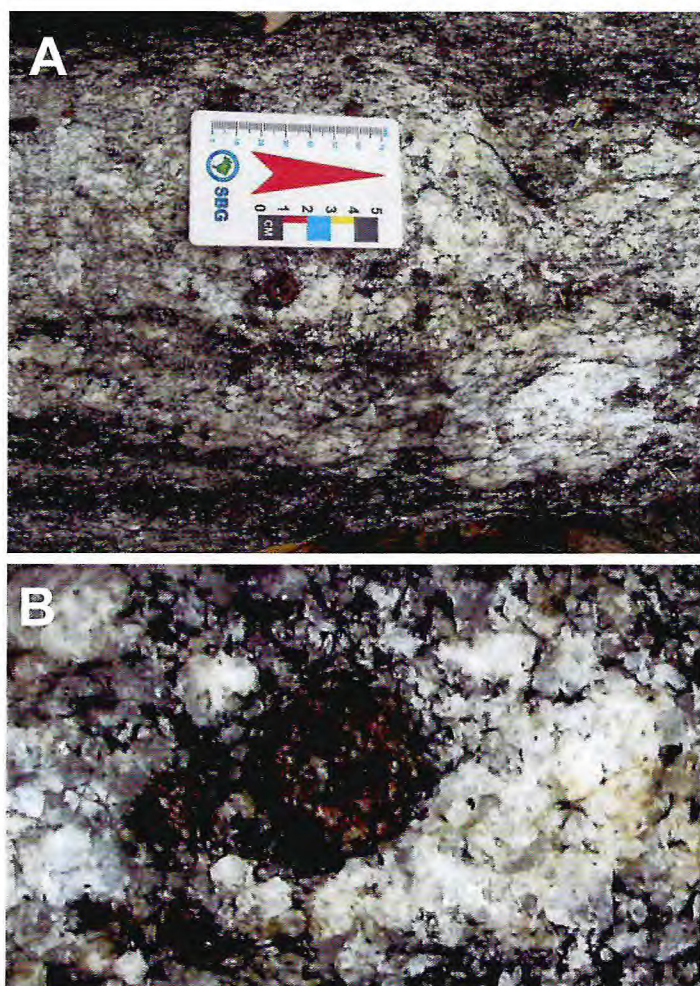


Figura 51. A – Segmento de leucossoma de metatexito estromático paraderivado, tendo como principais minerais visíveis a olho nu: feldspato, granada, biotita e quartzo (notar feições de deformação dúctil, boudins e lentes/sigmóides); B – Detalhe de porfiroclasto de granada com inclusões e envoltória rica em biotita.

Uma fase tardia de leucossoma, localmente observada, corresponde a corpos discordantes e subconcordantes a foliação principal de transposição (Fig. 52).

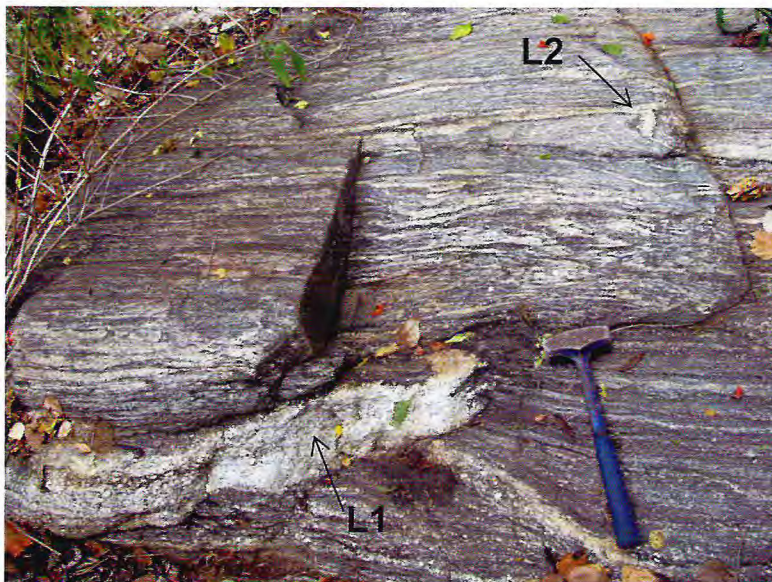


Figura 52. Alojamento tardio de leucossoma (L1) discordante e subconcordante a foliação gnáissica de transposição (Sn) e em charneira de dobra intrafoliar (L2).

Para as rochas calcissilicáticas (escarnitos), a associação mineral essencial é, basicamente, sublinhada por clinopiroxênio \pm Plagioclásio + Flogopita + escapolita (**Item 4**), com porções anfibolíticas ricas em tremolita, registrando condições de P-T da fácies anfibolito, envolvendo processos hidrotermais metassomáticos.

Amostra de anfibolito revelou uma associação de anfibólios (hornblenda e tremolita) + plagioclásio + granada; tendo alta porcentagem de carbonato (calcita) derivadas da alteração do plagioclásio e do anfibólio, além da biotita derivada do anfibólio, marcando condições retrometamórficas. Também, a tremolita em fraturas de cristais de granada, bem como em conexão com limites dos mesmos, apontam para processos retrometamórficos, certamente ligados a uma dinâmica hidrotermal.

Por seu turno a rocha quartzítica a microclina exhibe aspectos texturais e de recristalização do quartzo coerentes com os sedimentos areno-quartzosos (quartzo arenitos) metamorfizados em fácies anfibolito.

Finalmente, não foram coletadas informações sobre prováveis efeitos metamórficos propiciados quando das intrusões dos magmas geradores dos corpos leucogranitóides.

5. A MINERALIZAÇÃO FÓSFORO-URANÍFERA DE ITATAIA

5.1. O colofanito

O colofanito diz respeito a uma “rocha de coloração marrom-avermelhada, mesclada de pontuações creme-esbranquiçadas e negras, ora com aspecto afanítico, ora botroidal, com pequenas cavidades preenchidas por material pulverulento de cor amarelo-ocre” (Mendonça *et al.*, 1985), composta predominantemente por colofana (> 80%; Angeiras e Netto, 1977), tendo como minerais acessórios a grafita, zirconita e titanita e, como minerais de alteração a montmorillonita, caolinita e sericita.

Esse litotipo constitui o principal minério fósforo-uranífero da Jazida de Itataia, encontrando-se alojado, preferencialmente, em mármore e rochas calcissilicáticas da Formação Alcantil, sendo classificados como do tipo maciço (Fig. 53), em grandes corpos, e do tipo em *stockwork* (Fig.55). São citadas, ainda, ocorrências de colofana e/ou apatita disseminadas em epissienitos (ver Item 4.1.1.3), rochas calcissilicáticas, mármore (Fig. 56 A e B) e gnaisses, além de material escuro, carbonoso e zirconífero, cimentando brechas (Mendonça *et al.*, 1985). Localmente, o colofanito maciço encerra porções ocupadas por grandes cristais de calcita ou por calcita botroidal (Fig. 54).

Um tipo de rocha mesoscopicamente similar ao colofanito (Fig. 56) e descrita como hidrotermalito (Castro, 2004) encontra-se formada de uma matriz muito fina (colofana + material argiloso) envolvendo cristais de anfibólios incolores e castanhos, em parte com bordas azuladas (Fig. 57) e parcialmente alterados, plagioclásio totalmente albitizado e alguns cristais opacos (sulfetos ou mineral radioativo de urânio?). Para Castro *et al.* (2005), estes anfibólios mostram estrutura cristalina compatível com aquela da pargasita $[(Na,K)Ca_2(Mg,Fe)_4Al(Si_6Al_2)O_{23}]$; Fig. 58)]. Enquanto isto, análise de DRX efetuada para anfibólios da rocha calcissilicática encaixante, acusou espectro da tremolita (Fig. 74). Por sua vez, Veríssimo *et al.* (2016) sugerem que esses anfibólios refletem uma substituição de termos cálcicos da série actinolita-tremolita ($ANa + AK < 0,5$; $Ti < 0,5$) em anfibólios sódicos ($ANa + AK < 0,5$), revelando compatibilidade com a composição da *arfverdsonite* $(NaNa_2(Fe^{+2}4Fe^{+3})Si_8O_{22}(OH)_2)$ e *iron-eckermannite* $(NaNa_2(Fe^{+2}4Al)Si_8O_{22}(OH)_2)$.

Em termos litogeoquímicos, dentre as características destacadas pelo citado autor, tem-se: a) - Reduzidos teores de SiO_2 (11,2%), K_2O (0,02%), Rb (0,5 ppm) e Ta (0,1 ppm); b) - enriquecimento expressivo em CaO (44,1,%), P_2O_5 (31,4%), F (16,167 ppm),

Sr (2.371 ppm), U (1.429 ppm) e Y (87 ppm). A cronologia radiométrica $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ de anfibólios relacionados a esse hidrotermalito apontam para um valor médio de 590 Ma (idade provável de formação desses minerais; Castro, *op.cit.*).

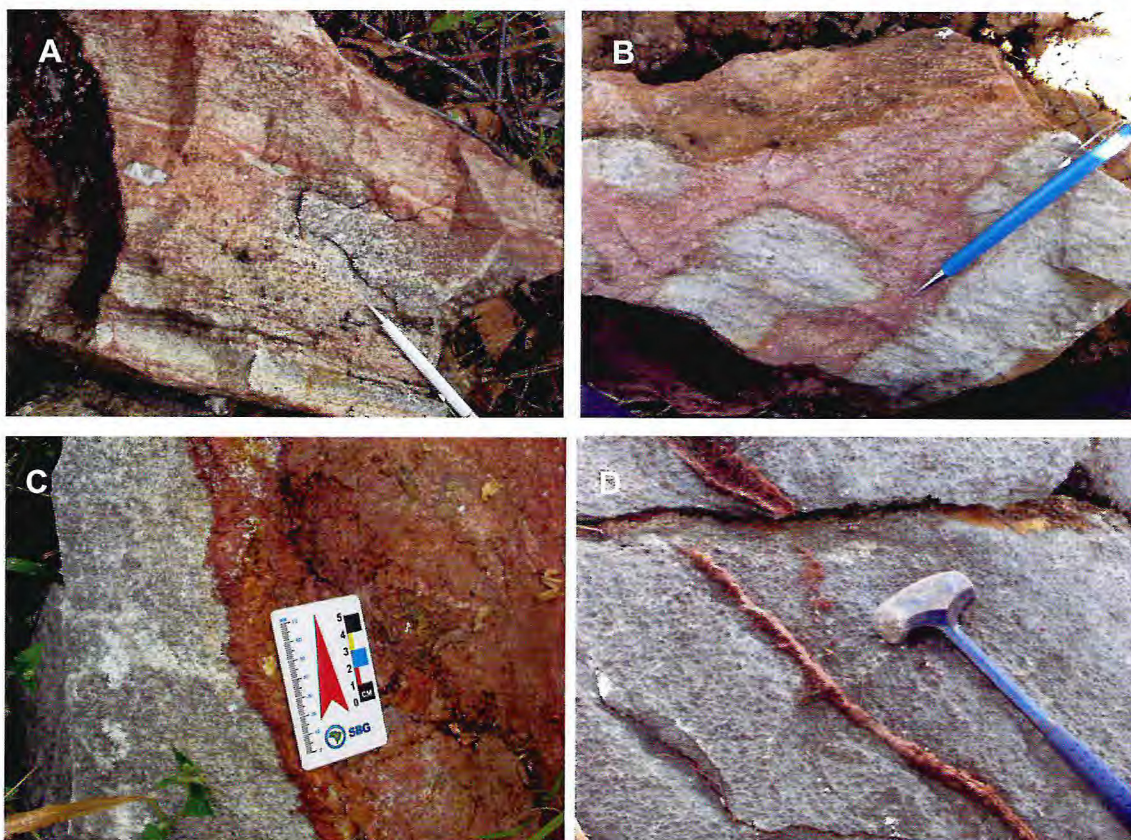


Figura 53. A e B – UTM 414233/9496076 – Colofana disseminada em mármore, com concentrações refletindo processo hidrotermal; C – Colofanito maciço em contato discordante com mármore cinza; D – Veio de colofanito com segmentos dispostos segundo o traço da foliação do mármore encaixante.

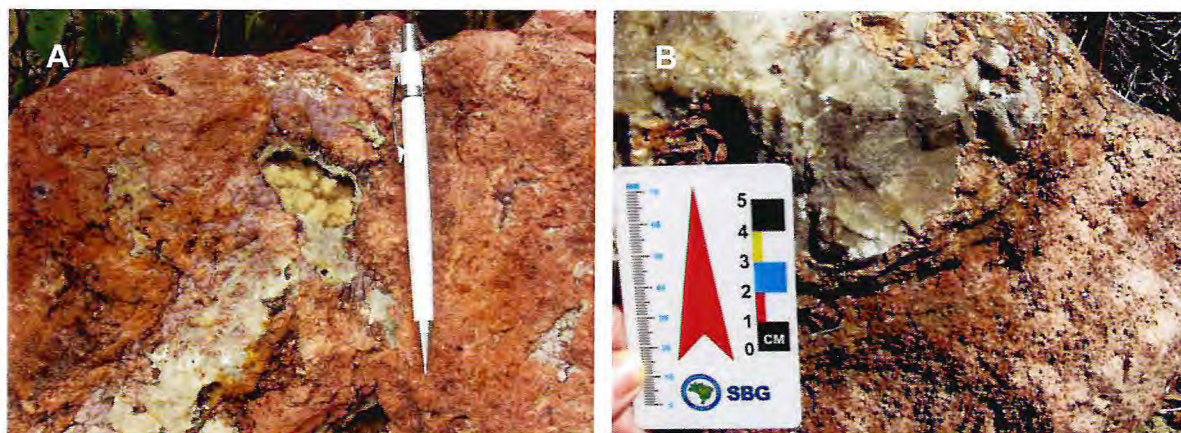


Figura 54. UTM 414233/9496076. A — Colofanito com cavidade preenchida por calcita botroidal; B - Colofanito maciço com áreas ocupadas por cristais de calcita bem desenvolvidos.

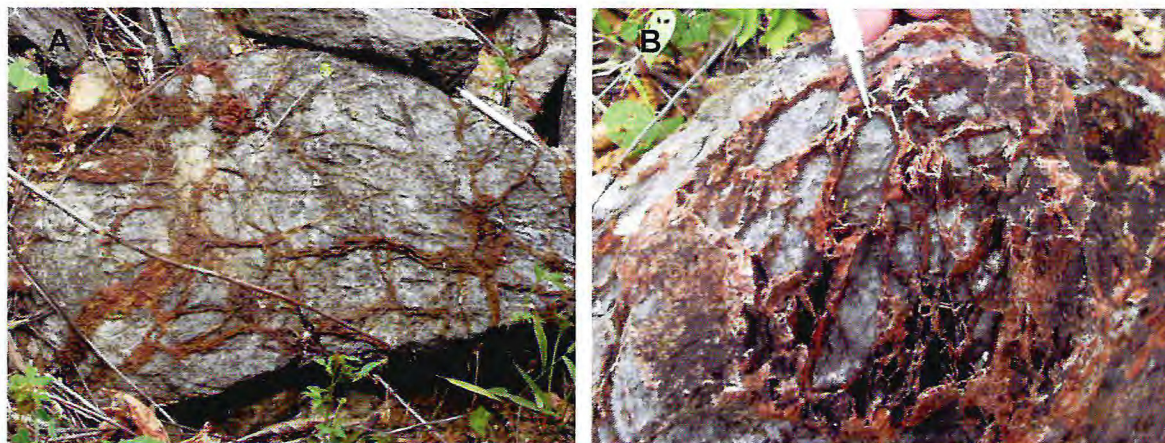


Figura 55. A e B - *Stockwork* de colofanito em mármore. Fotografia: A. F. Cavalcante.



Figura 56. UTM 414723/9495794. A – Rocha calcissilicática rica em anfibólio (tremolita) em contato com rocha rosada, fraturada, de matriz muito fina, com frequentes cavidades e esparsos cristais máficos (hidrotermalito/colofanito); B – Amostra de mão do hidrotermalito/colofanito (ou hidrotermalito apatítico), com frequentes e milimétricas cavidades. Fotografia: A. F. Cavalcante.

Fora o colofanito, em escala microscópica, a maior concentração de cristais de apatita foi observada na rocha descrita como diabásio (Item 4.1.4 e Fig. 62)..

Regionalmente, as principais áreas mineralizadas mostram suas maiores dimensões conforme a direção dos principais traços de foliação e fraturas/falhas, ou seja em torno de E-W (Anexo I, Subitem 4.2.4). Isto reflete, regionalmente, o traçado de importantes diques básicos mesozoicos (Cretáceo), como o que alinha a Jazida de Itataia ao Alvo 10

(Fazenda Pedra Preta, município de Canindé; Cavalcanti e Bessa, 2011), onde aflora um dique básico e rochas descritas como subvulcânicas e vulcânicas hidrotermalizadas (destas últimas uma amostra mostrou um conteúdo de fosfato acima de 25% e de U igual a 1503,11 ppm).

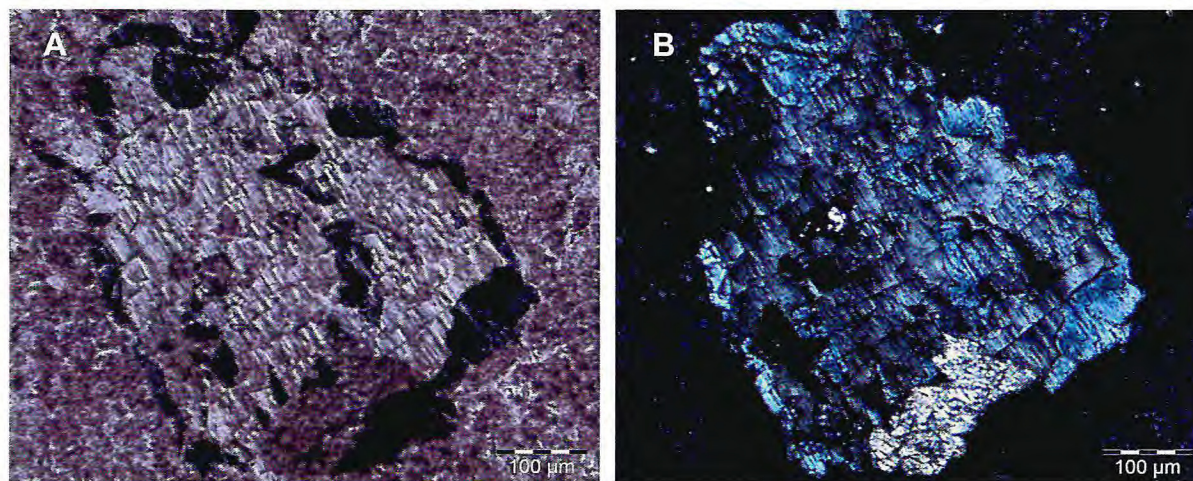


Figura 57. Ponto 31 – UTM 414723/9495794. A (LN) e B (LP) - Fotomicrografias do hidrotermalito mostrado na Fig. 56, com realce para um cristal de anfibólio incolor, com bordas azuladas, imersos numa matriz muito fina de colofana/fluorapatita e material argiloso...

Em escala de detalhe, usando-se os dados bibliográficos relativos às galerias G1 (Fig. 43), assinala-se uma tendência das superfícies de foliação Sn//Sn-1 direcionadas para 285° Az, com mergulho de 27° para NE; com sistemas de fraturas concentradas entre os 81° e 90° , compatível com aqueles traçados, para a região, a partir de imagens aéreas. Ainda, conforme tratamento estereográfico dessas fraturas (Subitem 4.2.4), tem-se superfícies com atitudes (*strike/dip*) 89/52S e 356/71E. Levando-se estes dados às seções geológicas (\approx N-S) da Jazida de Itataia (Figs. 58 a 61), chega-se a conclusão que a arquitetura dos principais corpos de colofanito e de rochas com colofana disseminada revela marcante controle estrutural, onde destacam-se os sistemas de fraturas/falhas de médios a altos ângulos, de direções em torno de E-W e NW (elementos que juntos com a estrutura Sn//Sn-1, suavemente dobrada, funcionaram como facilitadores de processos epigenéticos/cársticos).

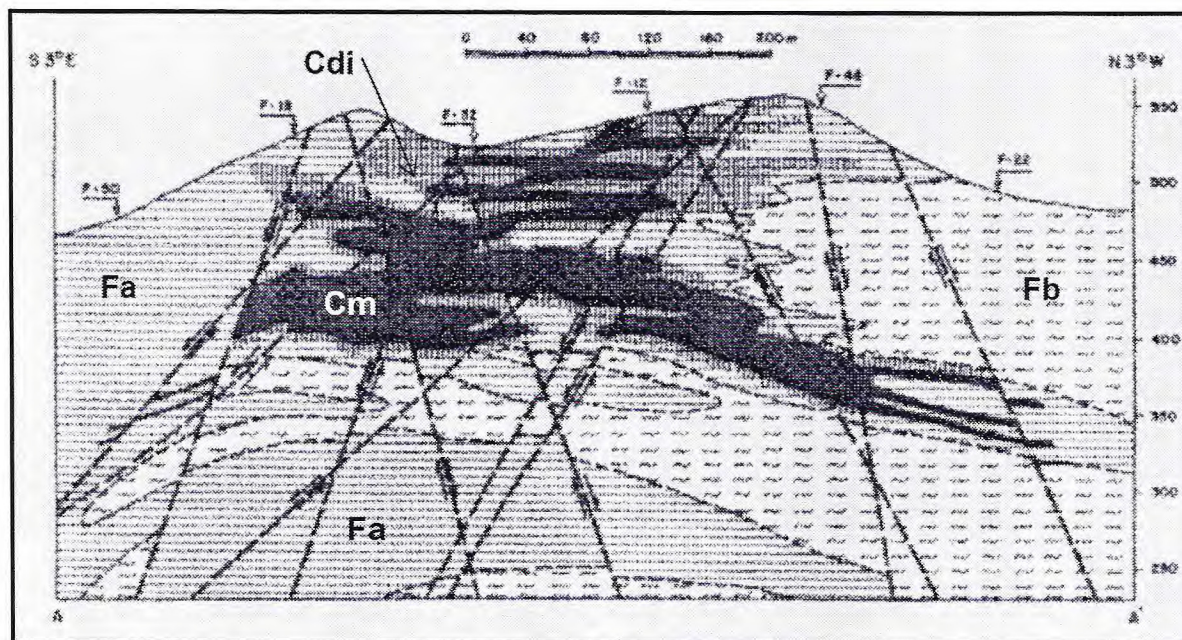


Figura 58. Seção geológica S 3° E – N 3° W traçada na porção oriental da Jazida de Itaitia. Compilado de Mendonça *et al.* (1980). Fa – “Formação” Alcantil: mármore e rochas calcissilicáticas; Fa – “Formação” Barrigas: gnaisses migmatíticos; Cm – Colofanito maciço; Cdi – Colofana do tipo disseminada, em brecha *etc*; F- Furo de sondagem.

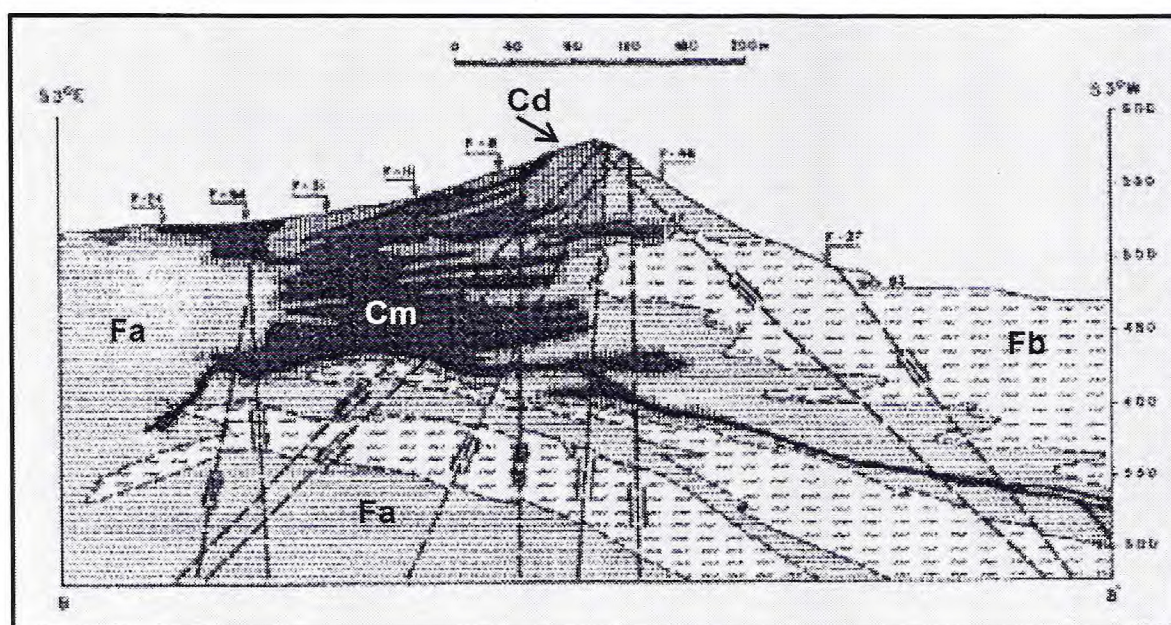


Figura 59. Seção geológica S 3° E – N 3° W traçada na porção oriental da Jazida de Itaitia obtida através de furos de sonda. Compilado de Mendonça *et al.* (1980). Fa – “Formação” Alcantil: mármore e rochas calcissilicáticas; Fb – “Formação” Barrigas: gnaisses migmatíticos; Cm – Colofanito maciço; Cd – Colofana dos tipos disseminada, em brecha, *etc*; F- Furo de sondagem.

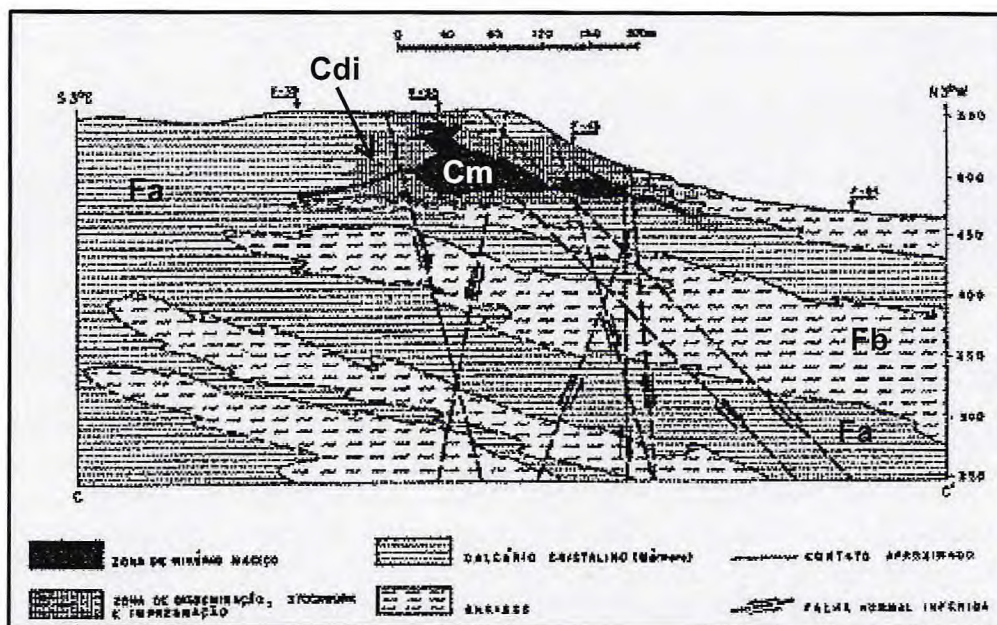


Figura 60. Seção geológica S 3° E – N 3° W traçada na porção oriental da Jazida de Itataia. Compilado de Mendonça *et al.* (1980). Fa – “Formação” Alcantil: mármores e rochas calcissilicáticas; Fa – “Formação” Barrigas: gnaisses migmatíticos; Cm – Colofanito maciço; Cdi – Colofana dos tipo disseminada, em brecha *etc* ; F- Furo de sondagem.

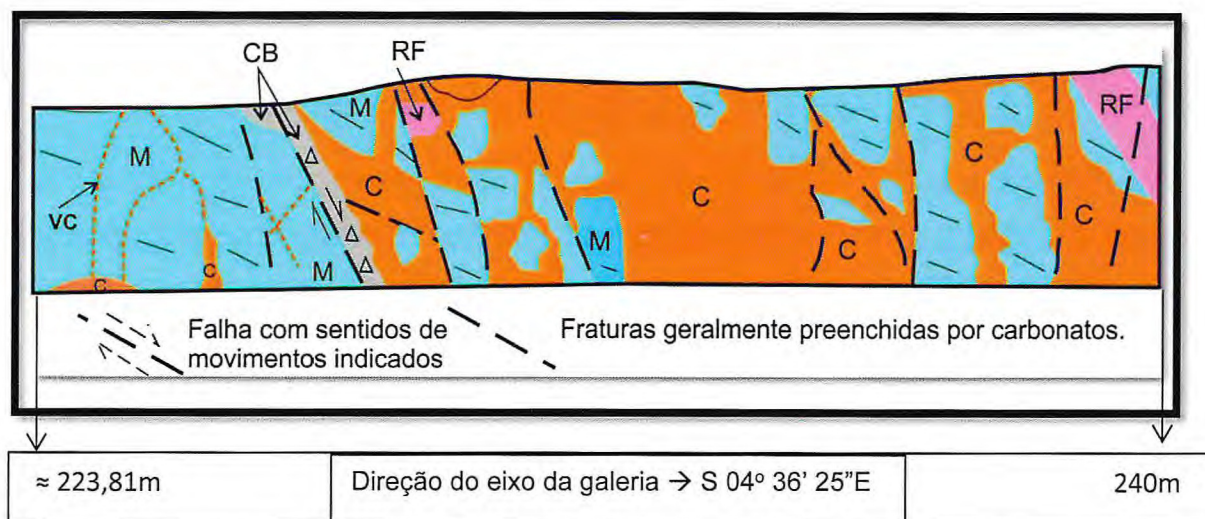


Figura 61. Jazida de Itataia, segmento da Galeria G1 (cota do piso = 480, 976m; direção do eixo = S 04° 36' 25" E) – Parede Leste: Seção geológica onde visualiza-se um arranjo familiar a migração de fluidos acompanhado de dissolução e substituição de rocha carbonática, facilitados por falhas/fraturas (C- Colofanito; CB – Colofanito brechado; RF – Rocha feldspática ; M – Mármore). Compilado de NUCLEBRÁS (1979).

5.2 Gênese do minério e as fases da apatita

5.2.1 A gênese do minério

O processo de formação da Jazida de Itataia tem sido matéria de estudos desde a década de 1970, mas ficando sempre em nível especulativo sobre a fonte primária do fosfato e do urânio. Angeiras *et al.* (1978) sugerem um relacionamento da mineralização fósforo-uranífera com intrusões graníticas tardi-orogênicas; enquanto Andrade *et al.* (1982) propõem a influência de rochas básicas, da região de Morrinhos (W da área estudada), no fornecimento do fósforo acumulado nas rochas carbonatadas e gnáissicas. Por outro lado, Favali e Leal (1982) relaciona a mineralização fosfática a sedimentos marinhos de plataforma, posteriormente remobilizados por metassomatismo sódico e enriquecidos em urânio; enquanto Saad *et al.* (1984) ligam toda a fonte primária do P-U a um processo sedimentar/vulcano-sedimentar em ambiente marinho plataformar. Também, Castro *et al.* (2005) seguem esta linha sedimentogênica para a primeira etapa da mineralização fósforo-uranífera.

Hipóteses desenvolvidas, nos últimos anos, mantêm o relacionamento do primeiro estágio dessa mineralização ao magmatismo ácido alcalino pós-colisional/anorogênico, de idade cambro-ordoviciano, responsável por diversos corpos granitoides que afloram a NW da região de Itataia, em domínio do Complexo Tamboril-Santa Quitéria; responsáveis, na área, por processos de albitização/epissienitação e aporte de urânio.

Trabalho como o de Cavalcanti *et al.* (2013), apresenta uma hipótese que abarca esta idéia, para a formação do protominério (epissienitos ricos em apatita e com mais de 10% P_2O_5 e 0.08% U), agregando uma fase hidrotermal subsequente relacionada ao magmatismo básico mesozóico e ligada a formação dos colofanitos (pensamento similar já tinha sido externado por Netto *et al.*, 1991, baseados numa idade de 91 ± 6 Ma obtida pelo método de Traços de Fissão em Apatitas de colofanito). Por sua vez, Veríssimo *et al.* (2016), assumem, para o primeiro estágio da mineralização (em alta temperatura), o mesmo pensamento anterior, passando a um estágio de baixa temperatura, relacionado a um evento hidrotermal/cataclástico multifásico, limitado a zonas de falhas e paleocarstes; este sendo seguido por um estágio final envolvendo condições francamente oxidantes; com o segundo e terceiro envolvendo uma associação de fluidos hidrotermais

e meteóricos. Os mesmos autores creditam a origem do P a fosforitos associados ao ambiente sedimentar neoproterozóico relacionado ao desenvolvimento do Grupo Itataia.

Com tudo isto e levando-se em consideração as observações de campo (estruturas e litologias), os dados micropetrográficos (Fig. 63) e aqueles exibidos no item seguinte, onde os colofanitos exibem composições químicas em que se misturam elementos familiares a manifestações de rochas ácidas e depósitos sedimentares aqueles de rochas básico-ultrabásicas (p. ex. Ni) pode-se pensar que o principal estágio de formação do jazimento fósforo-uranífero de Itataia relaciona-se ao hidrotermalismo acontecido, provavelmente, no Mesozóico, quando das manifestações tectono-magmáticas (magmas básico-ultrabásicos); não descartando-se a carstificação e a ação de soluções meteóricas dessa época e de fases posteriores oxidantes.

5.2.2 As fases de formação das apatitas

Para Fuzikawa (1978, *apud* Mendonça, 1985), com base em dados de inclusões fluídas, o limite máximo de formação da apatita seria da ordem de 100° C, ao passo que o da ankerita e quartzo seria inferior a 50° C, apontando, ainda, a existência de uma geração de apatita acontecida antes do quartzo e posterior a ankerita. Siqueira Filho (1979, *apud* Mendonça, 1985), baseado na existência de apatitas em cristais “automorfos e límpidos, seja por esferulitos com estrutura lamelo-radial, constituídos por apatita em íntima associação com massas criptocristalinas e isomorfas de colofana”, admite a existência de, pelo menos, duas gerações de fosfatos, em tempos distintos. Veríssimo et al. (2016) descrevem, como provável, que a fluorapatita predomina nas fases hidrotermais, enquanto a hidroxiapatita nos minérios residuais.

Com vistas ao melhor entendimento das fases de formação da apatita, foram executadas análises, por Difractometria de Raios X (DRX), de amostras de colofanito em diversas situações, bem como materiais supostos de conterem colofana, cujos resultados são exibidos nas figuras 66 a 74. Como adicional, foram analisadas essas e outras amostras, por Fluorescência de Raio X (FRX). Essas análises foram desenvolvidas por técnicos do Laboratório de Raios X do Departamento de Física da UFC, coordenado pelo Prof. Dr; José Marcos Sasaki.

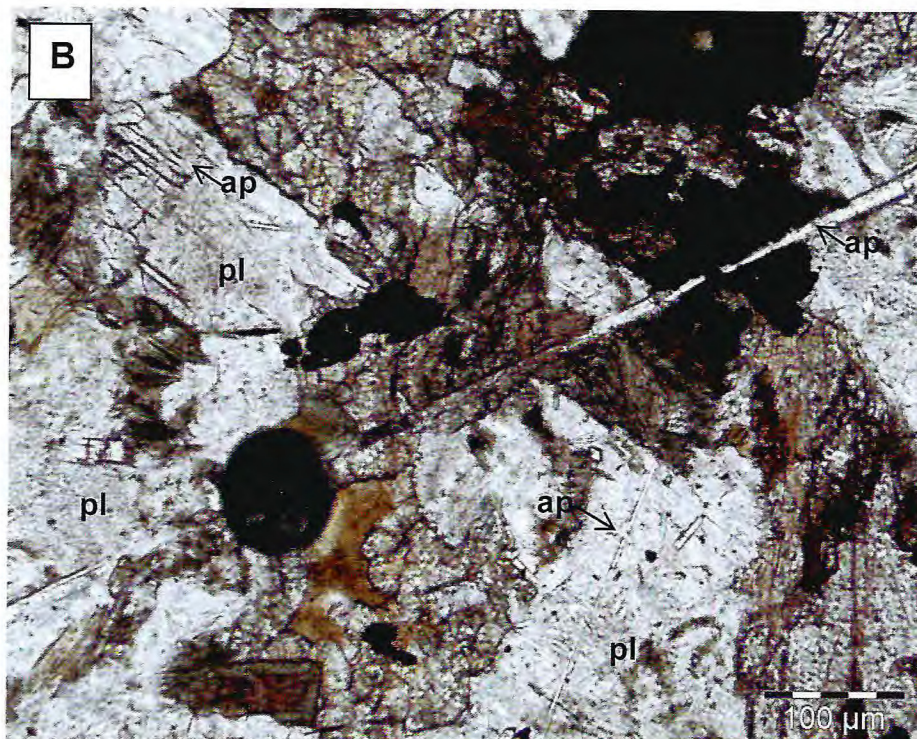
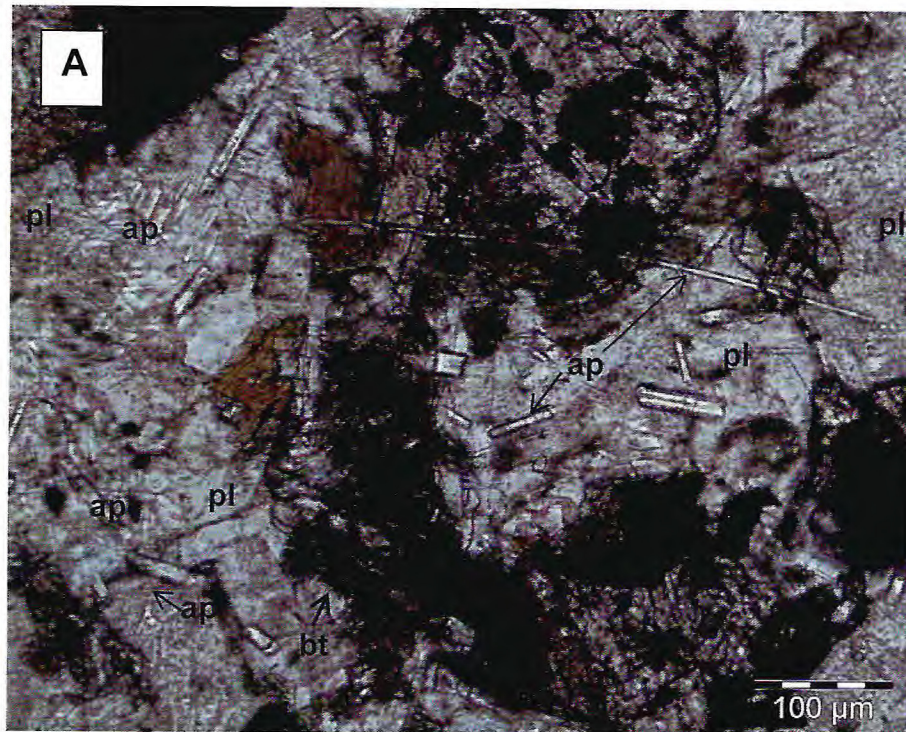


Figura 62. A e B – Fotomicrografias de rocha básica (diabásio) alterada, com significativa porcentagem de apatita (Ap: cloroapatita?), onde o clinopiroxênio (cpx) mostra alteração para biotita (bt; localmente passando a clorita); plagioclásio (plag) totalmente saussoritizado e opacos (ver Litoestratigrafia).

Como conclusão da leitura dos dados analíticos obtidos, tem-se:

a) – Para amostra de colofanito (Fig. 63) marcado por uma porção dominante mais clara, amarelada em superfície (fase C), com pequenas cavidades e com pequenas inclusões da fase A, mostrando partes transicionais rosadas (fase B) em direção a corpos de formatos irregulares, por vezes lenticulares e arredondados (castanho-avermelhados; fase A), cujas relações com a B admitem uma formação posterior (preenchimento de cavidades), tem-se, unicamente, a hidroxiapatita nestas três fases (Fig. 66), certamente envolvendo frações de gerações distintas ($B \rightarrow A \rightarrow C$, no sentido à mais jovem). Já os valores da FRX acusam uma composição química mais complexa para a fase A, com a presença de Cl e óxidos de Ni, Mo e Zn, que não acontece na fase B, contudo sem a presença de óxidos de S, K (em maior %, em A), Ti (fase A) e Y. O K_2O , SrO e Fe_2O_3 são presentes nas fases A e B, estando o primeiro em porcentagem em torno de 1% (Tabela 1), o segundo de no máximo 0.2920% (em A) e o terceiro com 40.943 % em A (máximo para os colofanitos analisados) e 4,6015% em B. A única fase que mostrou-se uranífera foi a A com o $U_3O_8 = 0.1614$. Já as porcentagens de P_2O_5 foram de A = 13,315 e B = 25,369, revelando um decréscimo entre a considerada fase mais velha B para as mais novas, enquanto o Al_2O_3 mostra um franco aumento de B para A.

b) - Na situação em que o colofanito maciço, de tonalidade amarelada e esbranquiçada, similar à fase B anterior, exibe diversas manchas de cor preta, a DRX acusa, para as três fases da amostra (Fig. 67), uma composição mineral a fluorapatita + quartzo (este em maior intensidade na fase F). Enquanto isto, a FRX revela uma composição química onde destaca-se na fase D (material escuro, Amostra 15D), em relação a amostra anterior (fase B), a presença de ZrO_2 (0,0433%), MoO_3 (0,448%) e U_3O_8 (0,1034% - ficando entre os dois mais altos; Tabela1), com a fase F mostrando um teor em P_2O_5 maior do que aquele da referida fase B, mas que está entre os mais baixos (<18 %). Essa fase D apresenta uma diversificada composição em óxidos, onde se incluem, além daquele de U, os de Y, Nb e Ni. Para a fase E (amostra AF15E, na Tabela 1), os teores de P_2O_5 e CaO são próximos daqueles da AF15D, bem como o de Fe, mas tendo, como diferencial, parte dos óxidos e a presença de Cl. Para a fase F (amostra AF15F), referida como a mais clara, revela, em relação às anteriores, uma menor porcentagem de Fe_2O_3 (5,6518%) e alta de CaO (62,500 %).

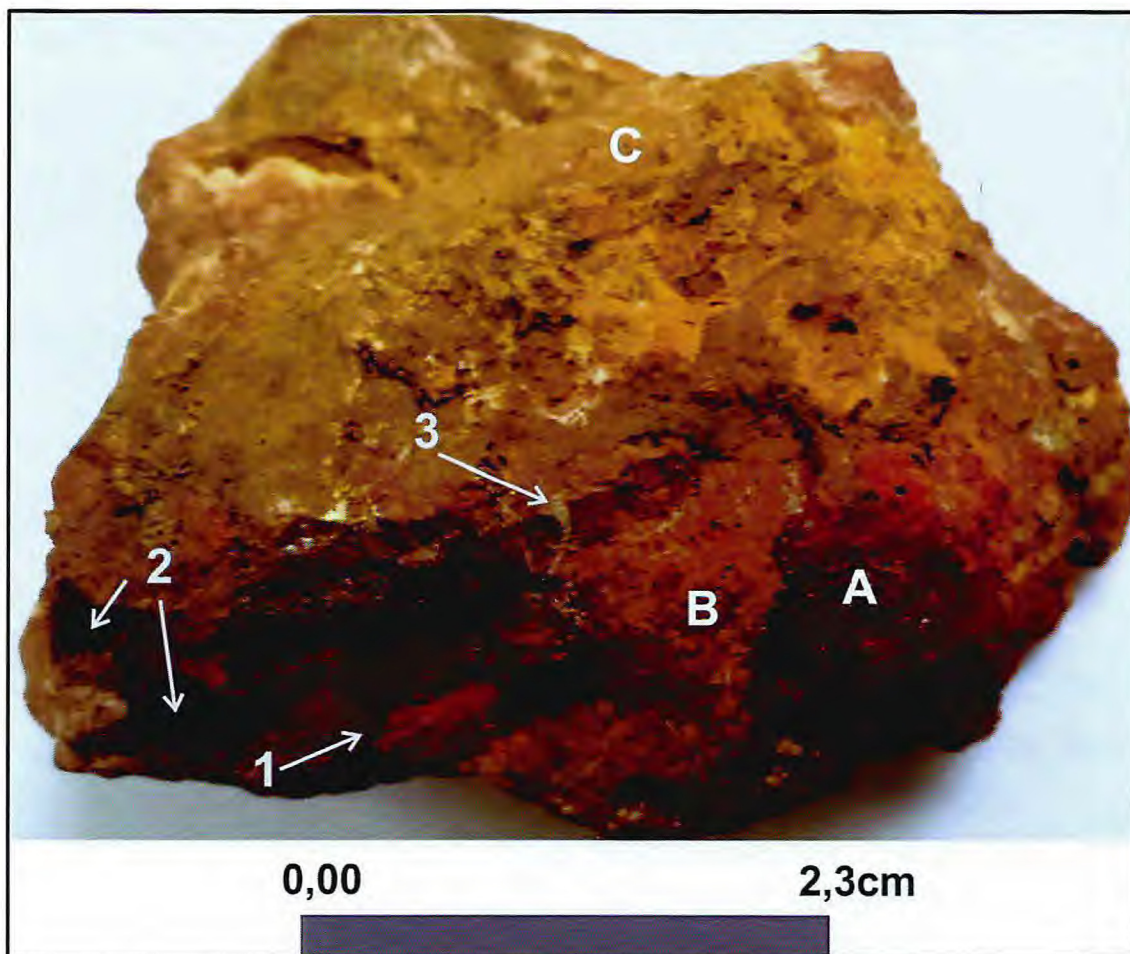


Figura 63 . Amostra de colofanito utilizada para análise de DRX (Fig.), envolvendo uma fase rica em óxido de Fe (A), que chega a associar-se a materiais pretos (2) uma intermediária rosada (B) que chega a ser envolvida por A (1) e uma fase de tonalidade amarelo-esverdeada (em superfície - C), encerrando material esbranquiçado que chega a penetrar, principalmente, na fase A (3).

c) Pelo lado de um exemplar de colofanito com lente escura rica em pequenos vazios (fases A e B; Fig. 68) tem-se, em ambas as frações, uma composição a hidroxiapatita (Fig. 68); com uma presença de óxidos, na fase A, bastante diversificada (Tabela 1), com $U_3O_8 = 0.2491\%$ (maior teor revelado; Tabela 1).

d) Onde tem-se pequenas lentes de colofanito encaixadas em mármore com espeleotemas, registra-se, pela análise DRX para o colofanito, a coexistência de fluorapatita com a calcita (Fig.70), enquanto na fase do espeleotema apenas a calcita. Enquanto isto, a FRX revela (Tabela 1) para o colofanito (amostra AF16A) uma natureza não uranífera e de baixo P_2O_5 (11.647 ; enquanto o mármore (amostra AF16B) encerra este óxido num teor bem menor (5,59 %).

e) Para colofanito com *spots* de material esbranquiçado, de dimensões e formas variadas, com feições amorfas/crystalinas, subordinadas a um domínio do colofanito castanho avermelhado, registrou-se numa face com maior exposição desse material (Fig. 64), as presenças de fluorapatita, quartzo e caolinita (Fig. 69). No caso, admite-se que essas apatitas representam uma geração mais nova e de mais baixa temperatura.

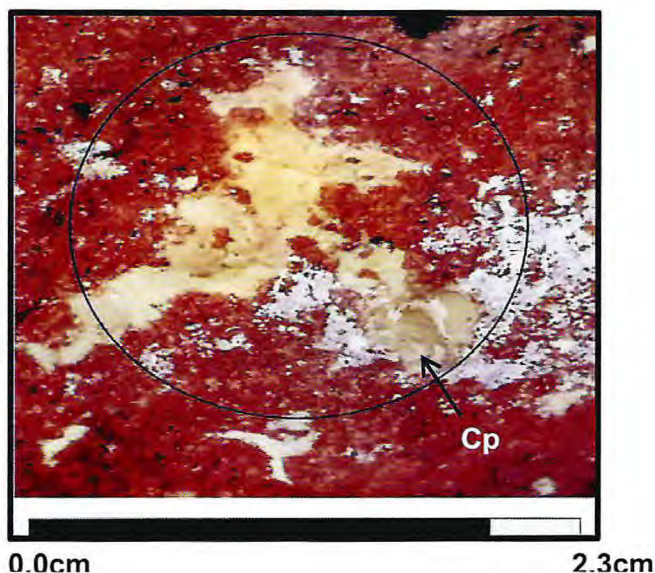


Figura 64. Campo de amostragem para análise IT-19 (Fig.), envolvendo as manchas brancas com porções cristalinas que toma aparência de calcidônia, com tons cinza-claro (Cp), num domínio de colofanito castanho avermelhado.

Em síntese, os colofanitos com maiores teores de P_2O_5 (22 a 26%) encontram-se em amostras onde as porcentagens de Fe_2O_3 são menores (< 6%), em parte acompanhando uma diminuição dos óxidos de Al e Si. O K_2O é presente na maioria das amostras analisadas, enquanto o SrO é revelado em todas elas (Tabela 1). O NiO é mais presente nos materiais com alto Fe e baixo P, estando o de Mo distribuído aleatoriamente. O maior número de óxidos é encontrado na amostra AF17 A, incluindo a presença de Tecnécio (Tc), tal como acontece na 01C. O U_3O_8 , com valores entre 0,10-0,25 % só não foi registrado nas amostras 15B e 16 A (esta com mais baixo teor em P_2O_5 entre os colofanitos; Tabela 1).

f) Quanto as demais rochas supostas de conterem alguma porcentagem de fosfatos, foram analisadas amostras de mármore (Fig. 71), rocha félsica ácida (Fig. 65) e anfibolítica (Fig. 74), além de espeleotemas ou formações de cristalização secundária, de baixa temperatura, a partir de mármore e rochas calcissilicáticas (Figs 72 e 73). Nestes casos, registra-se:

- No DRX, os mármore revelam uma mineralogia a calcita e grafita (Fig. 71) ou simplesmente a calcita, enquanto na FRX tem-se o teor de CaO amplamente dominante (intervalo 73 a 92%, aumento em função do declínio da % de Al_2O_3 , SiO_2 e Fe_2O_3) sobre os demais óxidos (Tabela 2); assinalando-se a ausência ou o baixo teor de P_2O_5 (quando ocorre relaciona-se a zonas de influências de material fosfático castanho avermelhado) e as presenças, em porcentagens $< 0,13$ dos óxidos de Rb, Y, Zr e Mo; enquanto os de Sr, Nb, Ag e Cd situam-se entre 1,4 e 3,5 %. O K_2O , como nas demais rochas, analisadas é bastante baixo ($\approx 0,6$ a $0,7\%$) e U_3O_8 , quando ocorre (Amostra AF7A; Tabela 2) é de $0,0742$ % (nos colofanitos fica acima de $0,1300\%$). Por sua vez, o conteúdo de tecnécio ($Tc = 0,0411$), nessa amostra 8A, é superior àqueles de duas amostras de colofanito (Tabela 1) e uma de rocha anfibolítica (Fig. 74 ; amostra AF3A; Tabela 3). O cloro (Cl) é presente no mármore AF8A ou seja na fração que encerra maiores porcentagens de óxidos de Al e Si.

- Em relação as rochas descritas como espeleotemas (Figs.70,72,73), registra-se, através da DRX, dois grupos, um formado por calcita (Figs.70, 73) e outro por calcita magnesiana (Fig.72), este relacionado a uma área de afloramentos de mármore impuros e calcissilicáticas. Assim, o magnésio deste segundo grupo deve ter origem na alteração de piroxênios e anfibólios encontrados, por exemplo, em calcissilicáticas/escarnitos.

- Pelo lado das rochas félsicas que cortam os mármore, algumas delas bastante silicosas, tem-se para duas amostras analisadas (AF73C e AF-96) baixíssimas porcentagens de P_2O_5 (5,2245 e 1,1423, respectivamente), e ausência de U_3O_8 . Também, o P_2O_5 (0,2431) é presente na amostra AF48B (Fig.74 e Tabela 3), relacionada a tremolitas de rocha calcissilicática.

No geral, esses dados apontam para, no mínimo, duas gerações de hidroxiapatitas, uma ligada ao minério maciço amarelado, comumente vesicular ou com lentes escuras, e uma segunda ao minério castanho avermelhado e escuro que ocorrem como material de preenchimento de espaços de dissolução do primeiro. Já a fluorapatita mostrou afinidade com o colofanito que encerra manchas escuras (face uranífera), onde ocorre associada ao quartzo (provavelmente de cristalização posterior a apatita), também associando-se a calcita, em pequenos corpos lenticulares encaixados em mármore com espeleotemas, além do material que formam manchas esbranquiçadas em colofanitos avermelhados (Figs. 64 e 69), onde se mostra associada ao quartzo e a caolina. Historicamente, as fluorapatitas são consideradas como formadas em dois estágios, um primeiro ligado a fase hidrotermal, Na-metassomática, e a segunda vinculada ao desenvolvimento da

hidroxiapatita (Obs: - Pelo visto, a fluorapatita da que ocorre junto ao quartzo e a caulinita sugere pertencer a uma terceira geração).

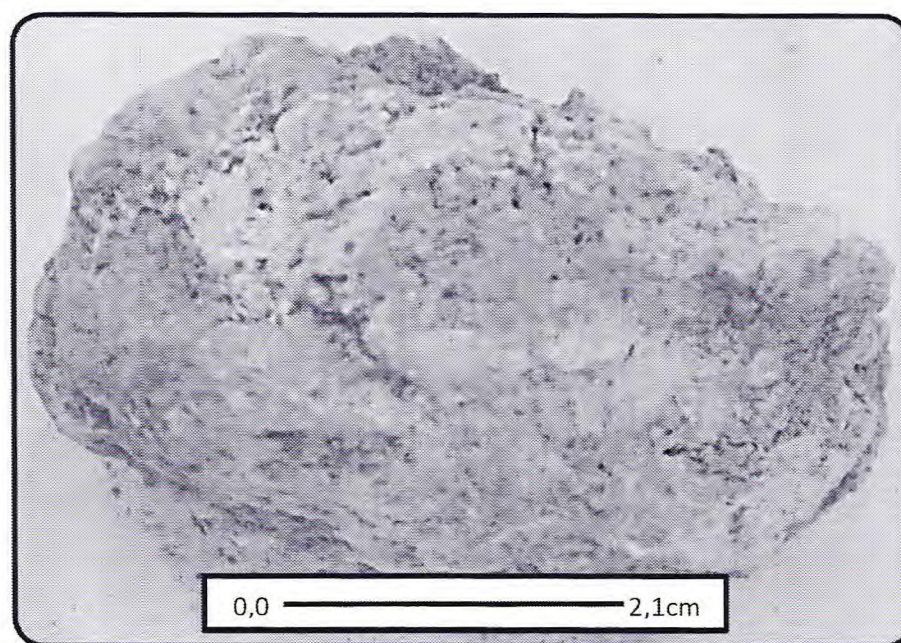


Figura 65. Rocha félsica relacionada a um corpo discordante à foliação dos mármore, sendo marcado por cavidades parcialmente preenchidas por material esbranquiçado (este objeto de análise por FRX; Tabela 3 - amostra AF-96).

No caso do U, mesmo com o registro de colofanitos uraníferos, não se observou, no presente trabalho, mineral a ele relacionado. Em consequência, admite-se o pensamento já adotado na literatura, que ele ocorre como “elemento vicário, substituindo o cálcio na estrutura da apatita ou do zircônio na rede do zircão e, ainda, adsorvido nas superfícies e descontinuidades internas da colofana, sem constituir mineral”.

Também, conclui-se que a disponibilidade de alumínio, detectada em todas as amostras analisadas e, ainda, nos mármore e rochas calcissilicáticas, não se revelou, em nenhuma porcentagem, relacionada a presença de fosfatos de alumínio. Isto pode ter sido consequência da alcalinidade das soluções mineralizantes e seu grau de solubilidade, além das condições físico-químicas de substituição da apatita por fosfatos aluminosos (como acontece, por exemplo, em alguns perfis lateríticos sobre rochas básico-ultrabásicos e metassedimentares fosfáticas hidrotermalizadas).

. Para os litotipos estudados, a ocorrência do alumínio presente nos colofanitos deve ser relacionada, principalmente, aos materiais argilosos e, em certas situações, a minerais inclusos na massa apatítica, tais como o anfibólio.

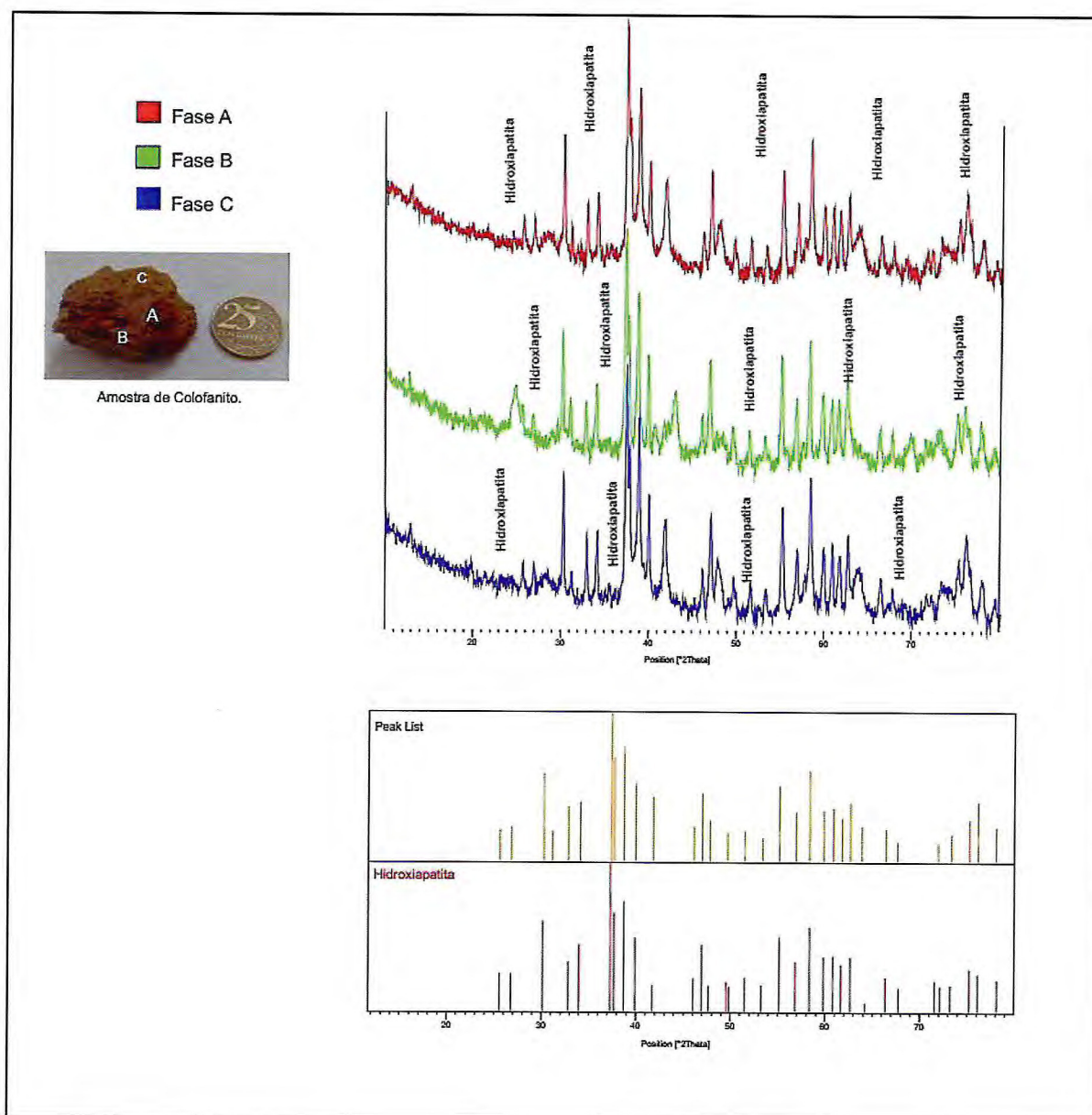


Figura 66. Espectrograma de DRX de amostra de colofonito do ponto 15 (Anexo II). – Encarte fotográfico com localização do material analisado (Fig. 63; amostras AF15A e B, na Tabela II), amostrado no topo do Serrote da Igreja.

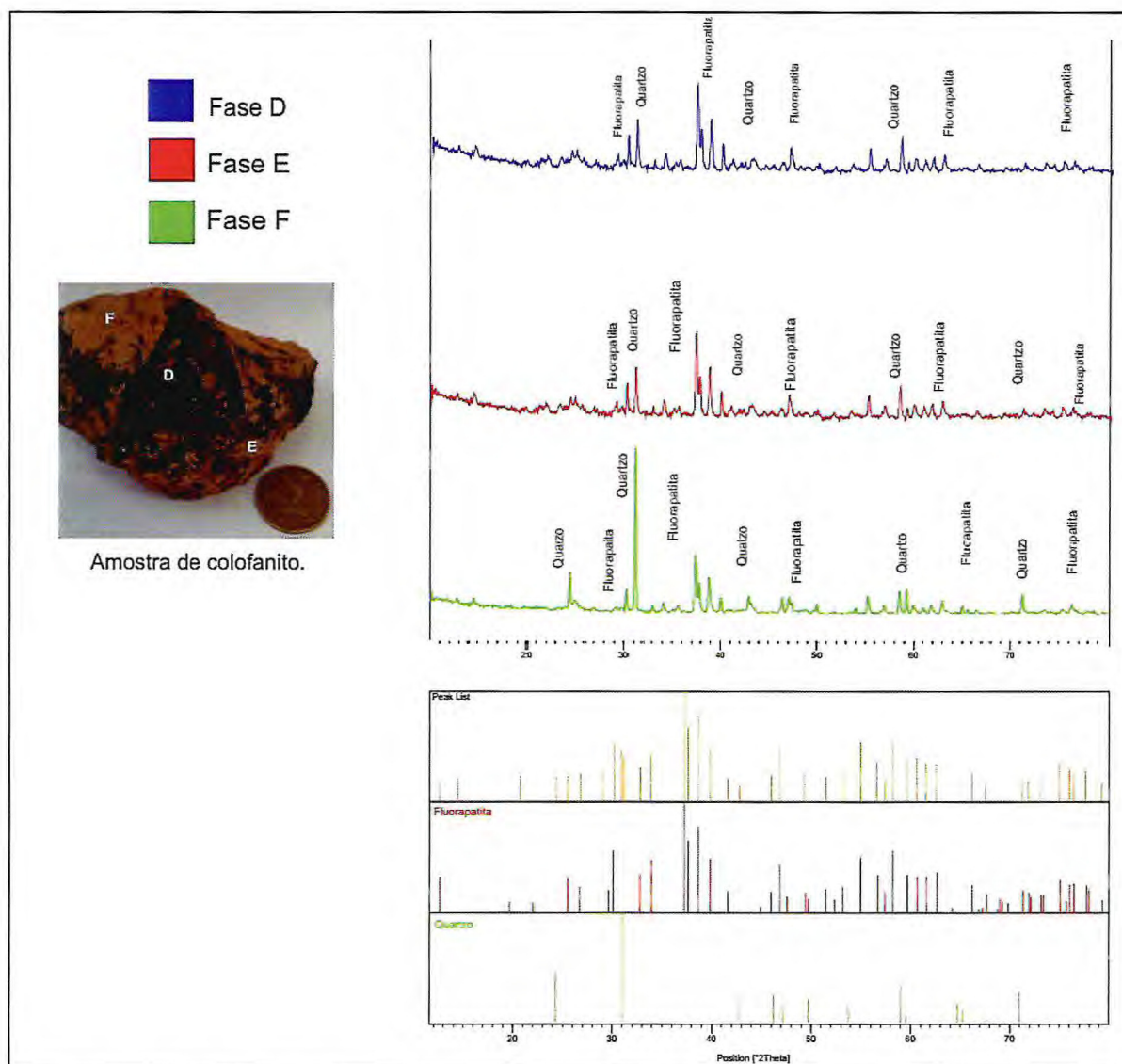


Figura 67. Resultado gráfico de DRX de uma amostra de colofonito. Encarte fotográfico da localização do material analisado (D - Material escuro; E - Material esbranquiçado; F - Material rosado que serve de suporte para D e E (Amostras AF15D a AF15E, na Tabela I). Ponto 15 – área do principal corpo mineralizado de Itataia (Anexos I e II), amostrado no topo do Serrote da Igreja.

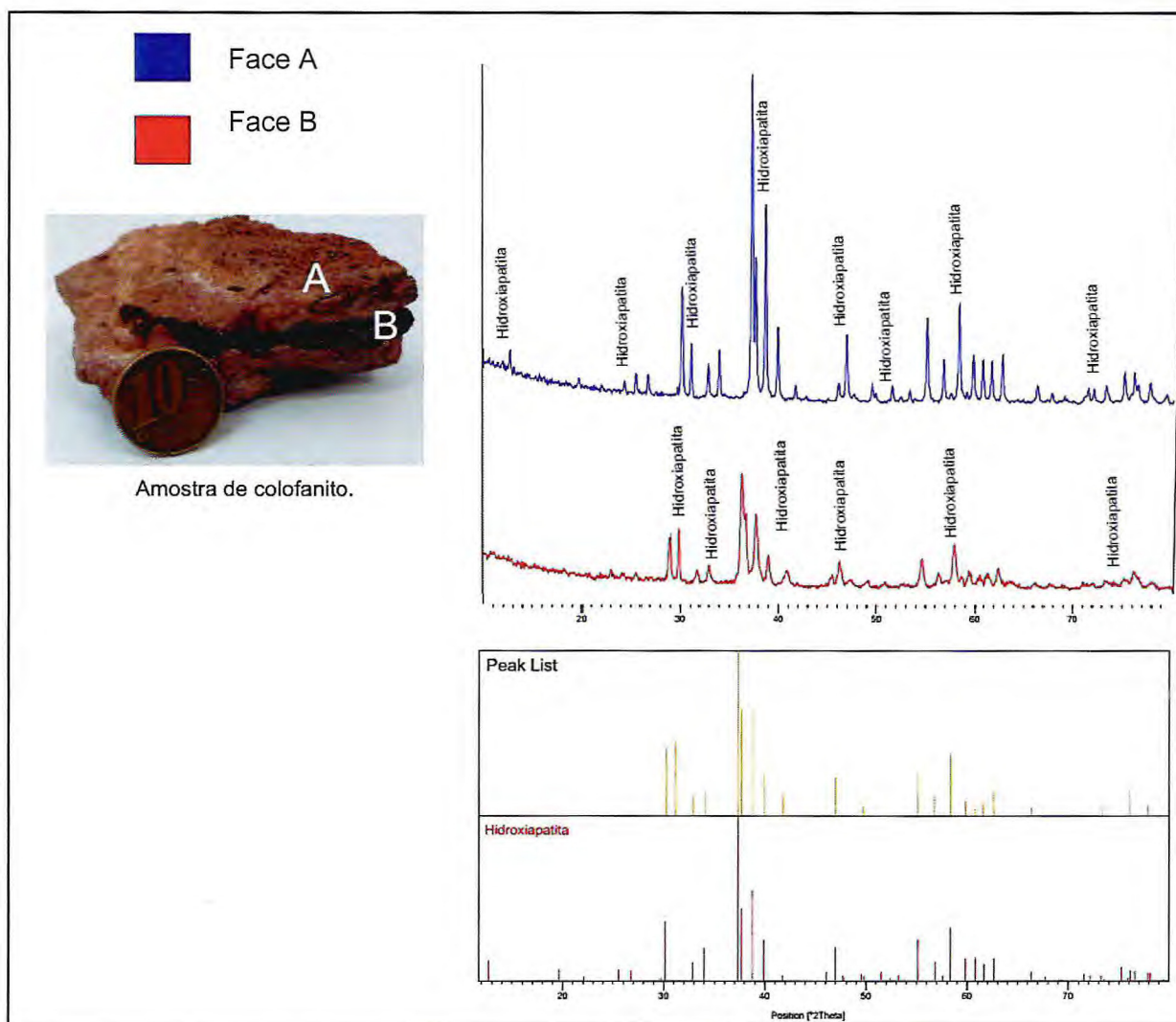


Figura 68. Resultado gráfico de DRX de uma amostra de colofonito (Ponto 17). amostrado no topo do Serrote da Igreja.

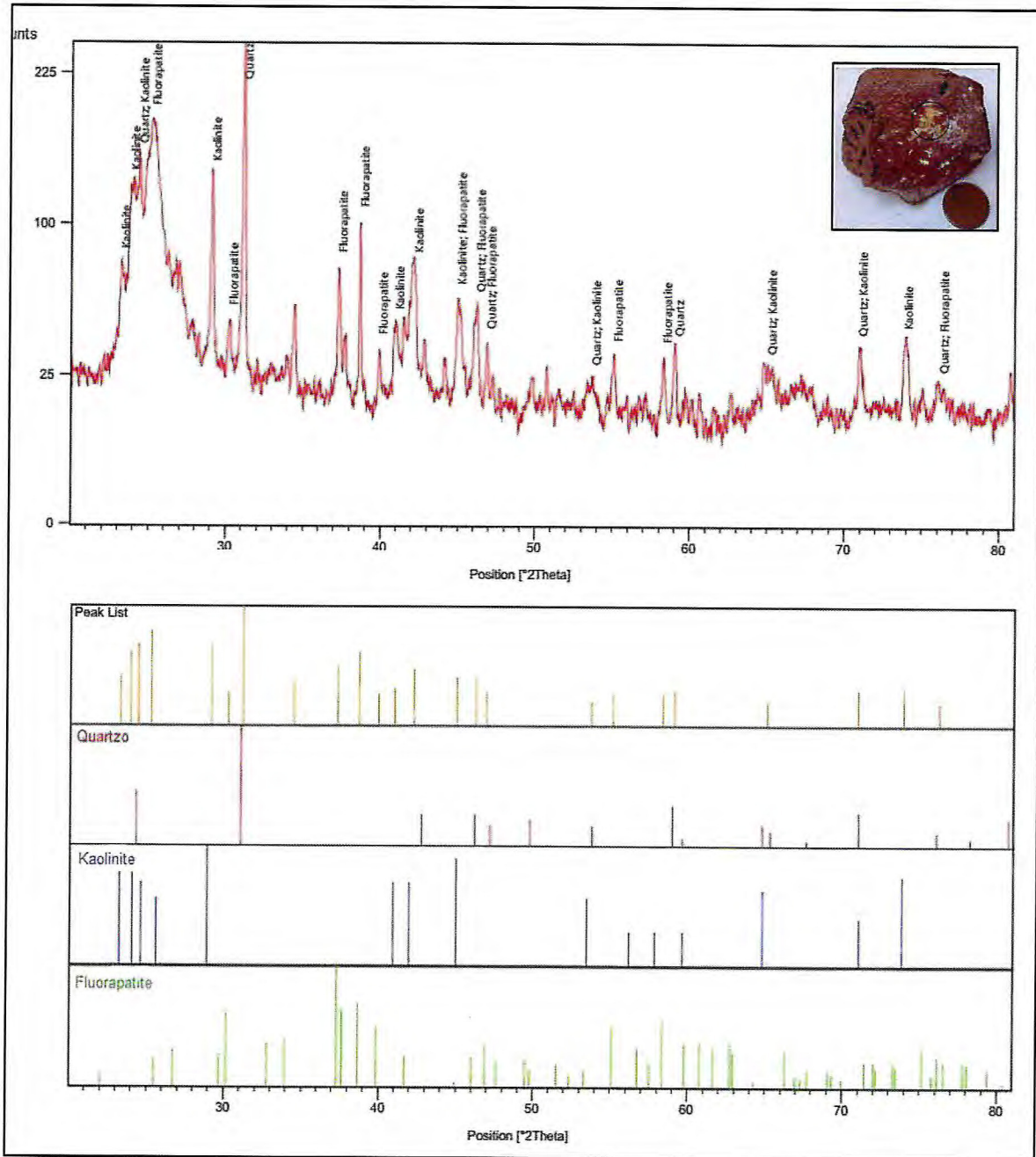


Figura 69. Espectro de material predominantemente esbranquiçado da face de uma amostra de colofanito (Fig.64), revelando uma composição a fluorapatita, quartzo e caolinita. (Anexo II). Fragmento amostrado associado à mármore.

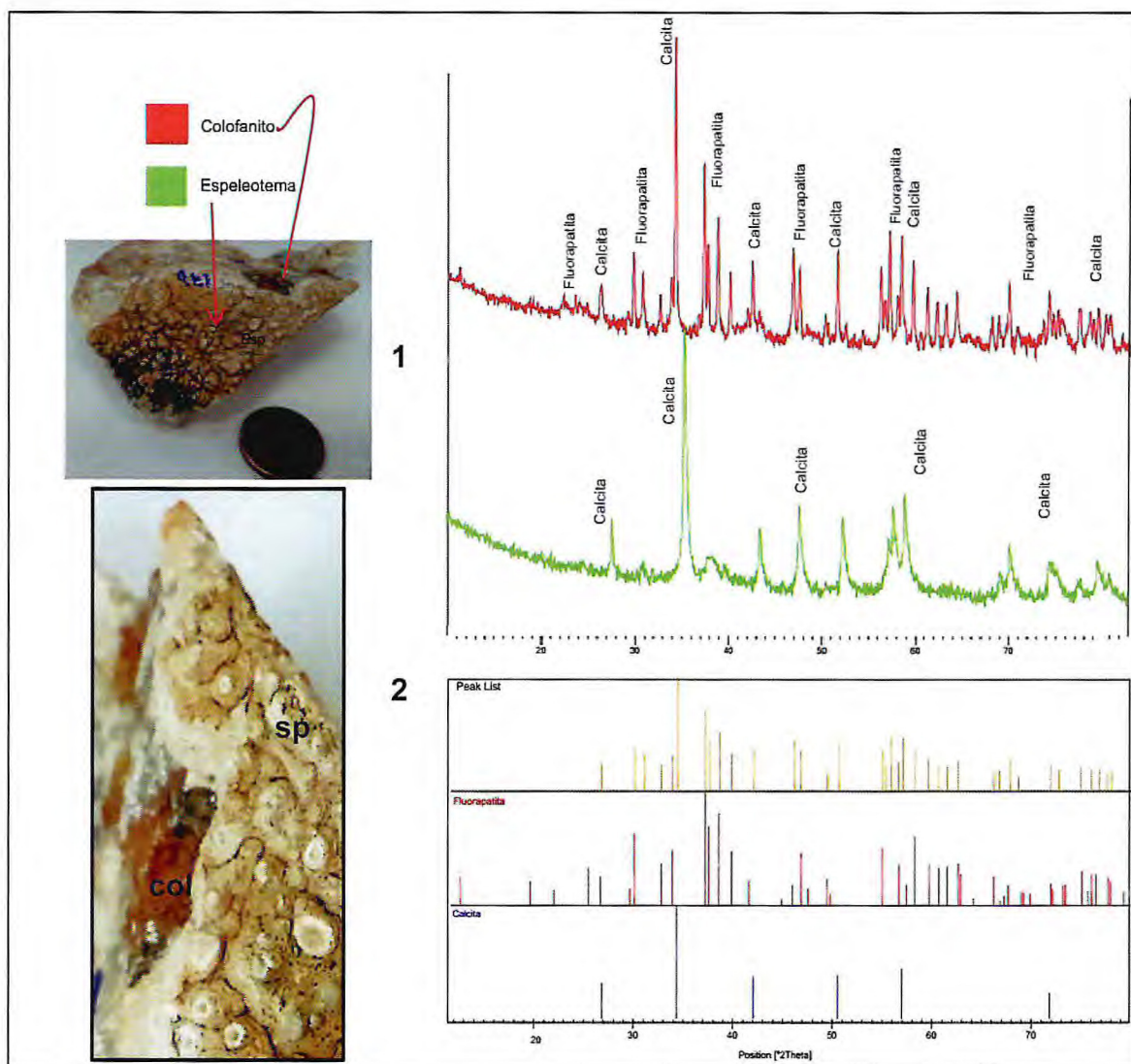


Figura 70. Espectrograma de DRX envolvendo uma fase de colofanito castanho avermelhado (**col**; amostra AF16A, na Tabela I) encaixado em mármore com espeleotema botroidal (**sp**; amostra AF16B). Ponto AF16. – Área do principal corpo mineralizado da região de Itataia (ver anexos I e II). Amostrado no topo do Serrote da Igreja.

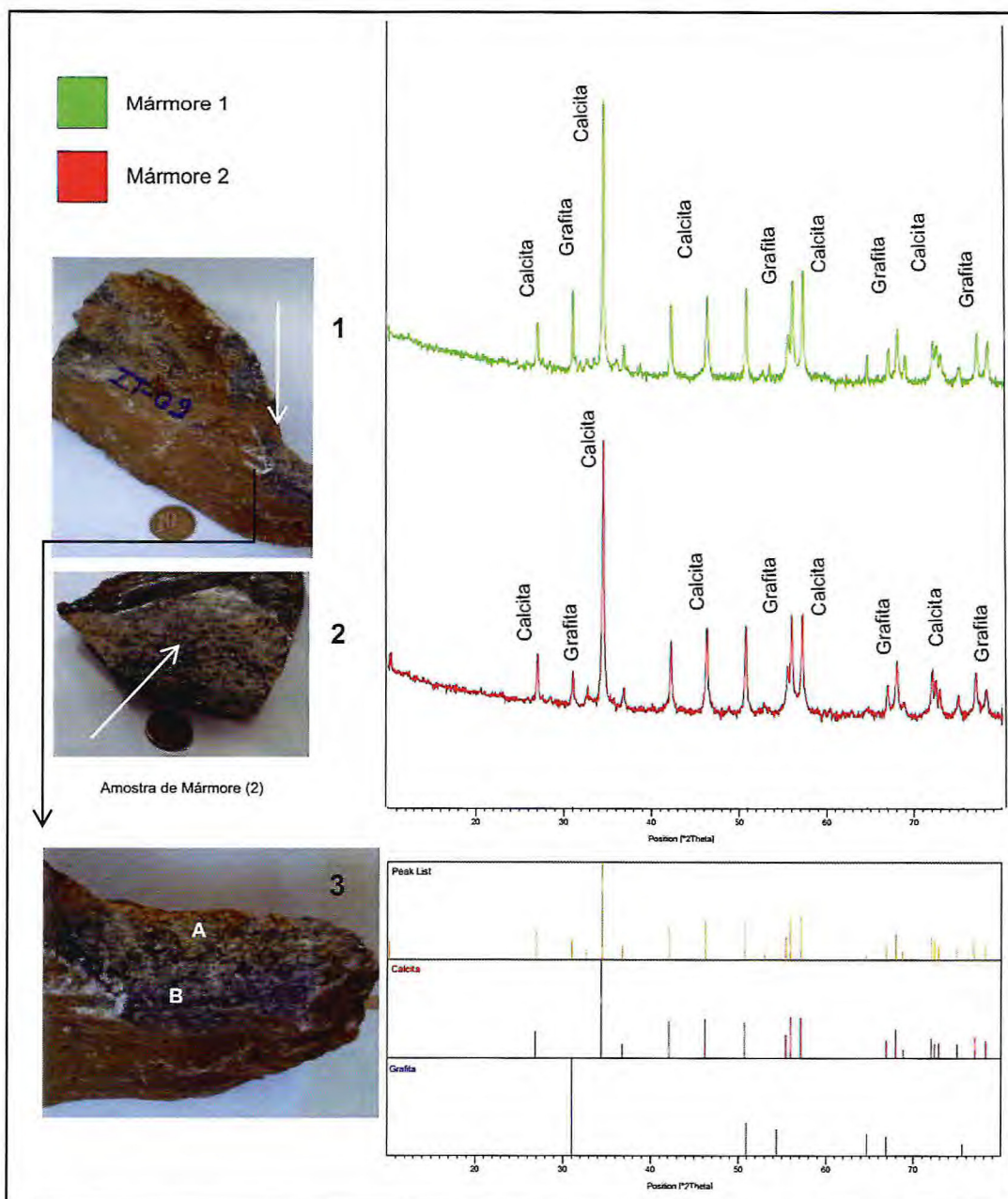


Figura 71. Espectrogramas de DRX envolvendo materiais colhidos de amostras de mármore: 1 - Ponto 8 (segmento ampliado em 3) - Fácies cinza escuro (B = Amostra AF-8B; Tabela 2) e esbranquiçada (A = Amostra AF- 8A, na Tabela 2,) e 2 - Ponto 7 - Face de estreita banda esbranquiçada (Amostra AF-6A; Tabela 2).

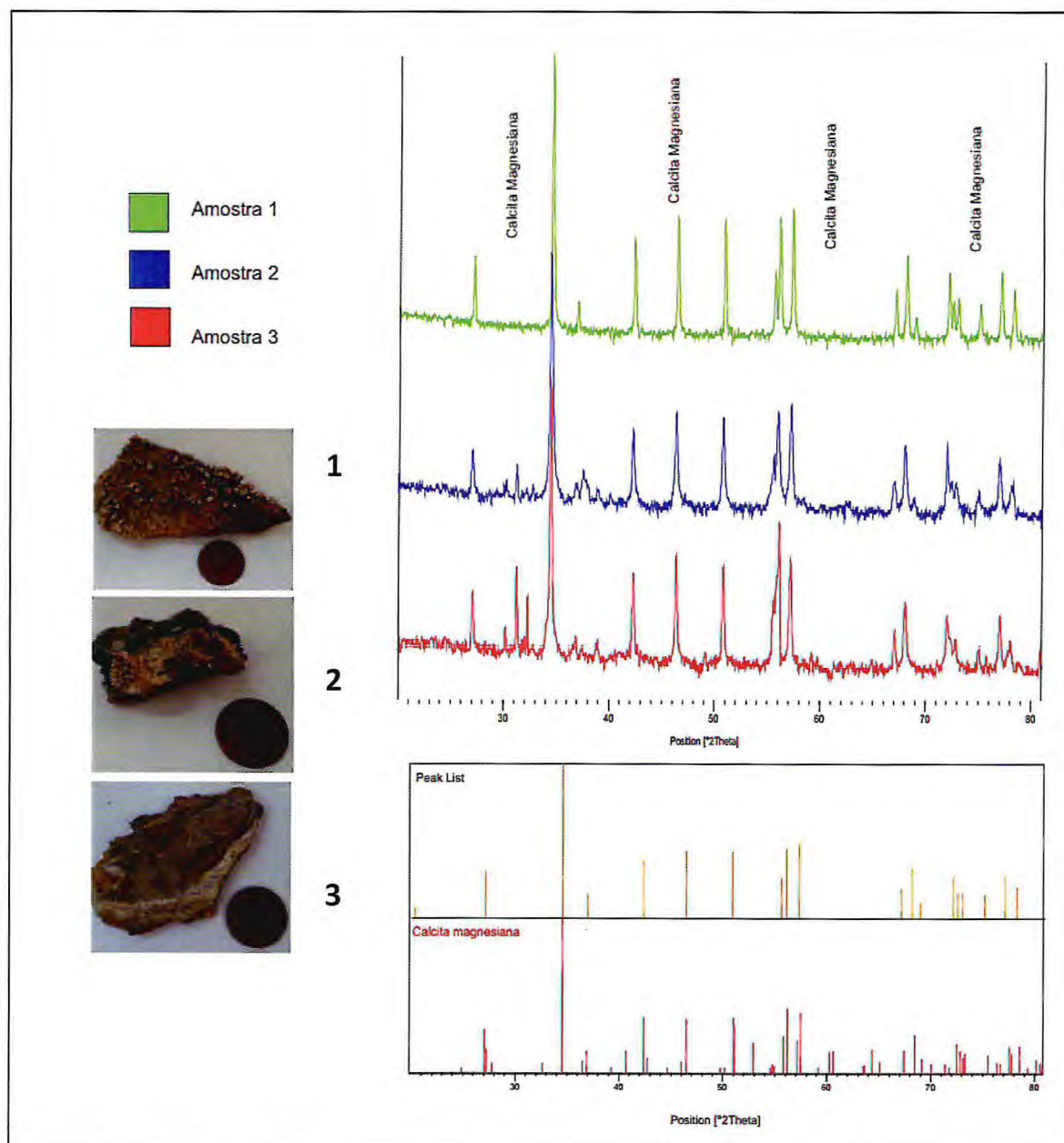


Figura 72. Espectros de DRX para exemplares de espeleotemas relacionados a uma área de afloramentos mármores impuros e rochas calcissilicáticas dobradas e fraturadas no contexto do Serrote da Igreja. Encarte fotográfico das amostras que forneceram os materiais analisados (1 – fase botroidal; 2 – fase escura; 3 – fase félsica, representada por material criptocristalino/amorfo, Ponto 72 (Anexo II).

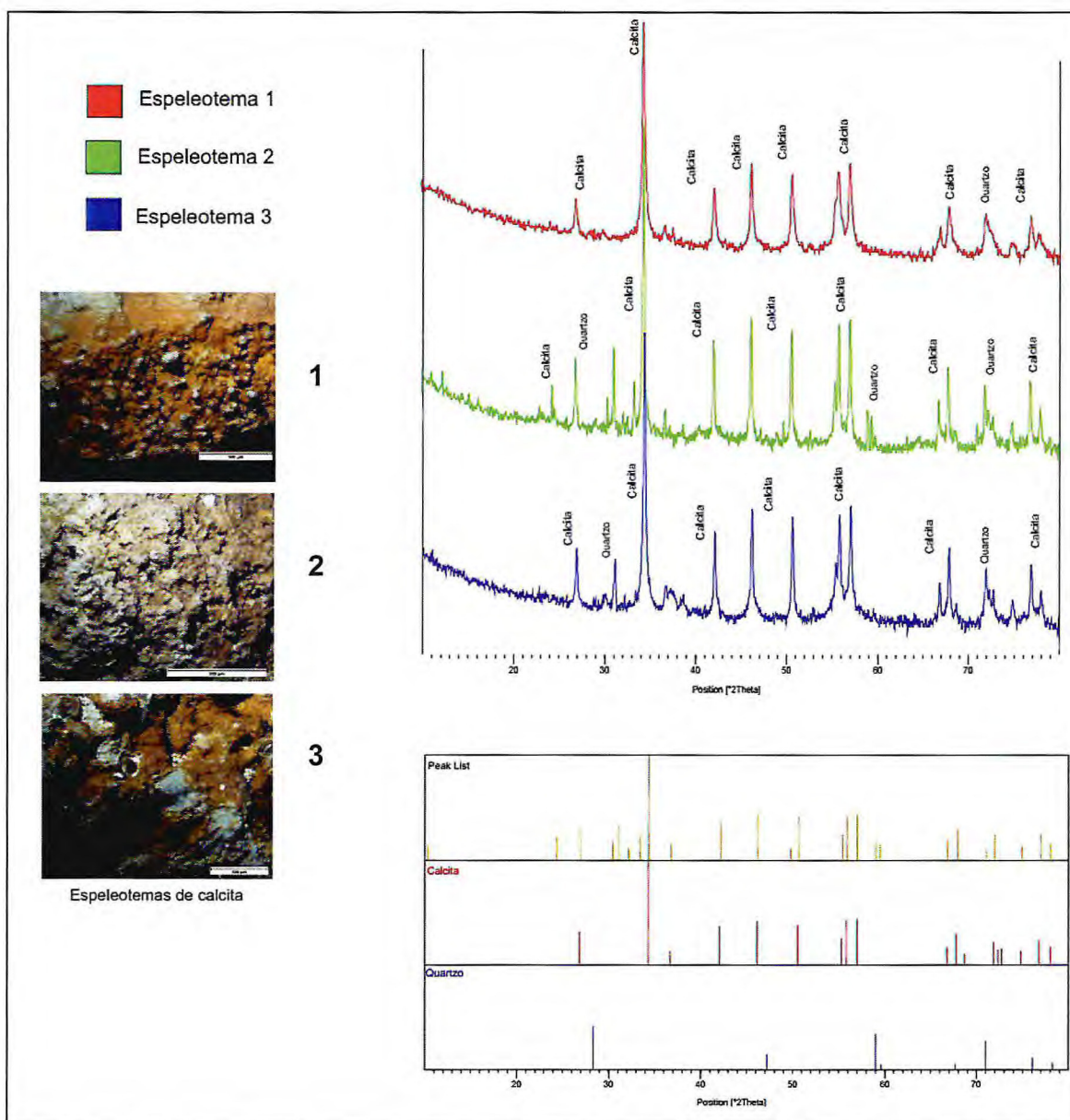


Figura 73. Espectrograma de DRX para amostras de espeleotemas. 1 e 2 - Amostras 52 A e B, respectivamente; 3 - Amostra 47B (Tabela 3). Pontos 47 e 52. Amostrado em afloramento *in situ* no topo do Morro do Canudo (Ver Anexo I e II).

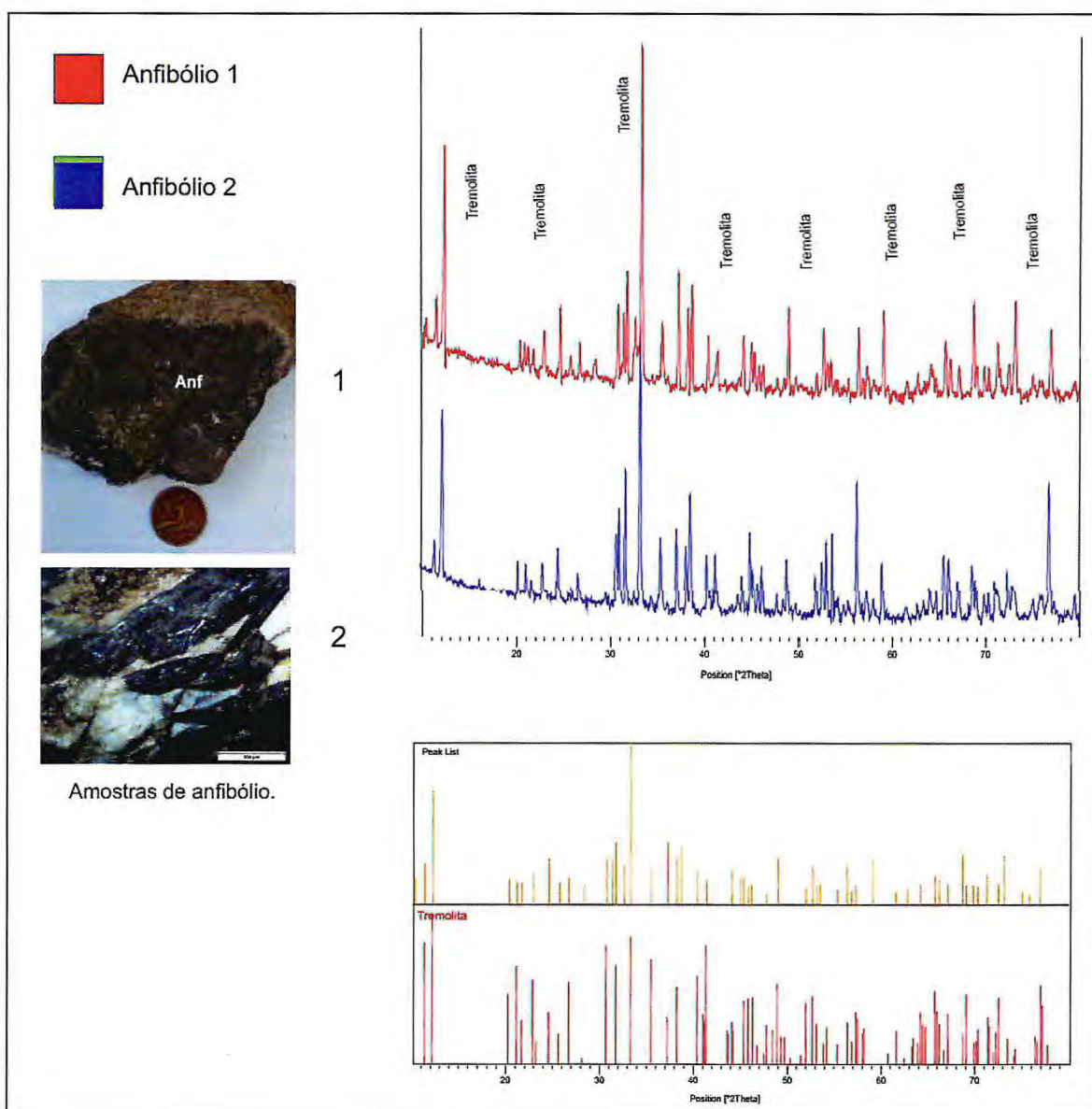


Figura 74. Espectros de Difração de Raios X envolvendo materiais de rochas calcissilicáticas/escarníticas: 1 – Rocha anfibolítica pertencente à “Formação Barrigas”, nas proximidades do contato com a “Formação” Alcantil (Ponto3; Amostra AF-3A); 2 – Zona de concentração de anfibólios em exemplar do afloramento parcialmente registrado na Fig. 56 (Ponto 31; Amostra 31B).

Tabela 1. Resultados de análises FRX de materiais de colofanitos.

Óxidos	Amostras										
	AF-01 ^a	AF-01C	AF-19D	AF-15A ou 87	AF-15B	AF-15D	AF-15E	AF-15F	AF-17A	AF-17C	AF-16A
Al ₂ O ₃	0,4516	0,7097	7,9352	0,8855	0,4120	5,1750	3,5130	1,1942	1,0956	0,2449	0,8737
SiO ₂	1,1451	3,4648	35,242	1,2871	1,7540	8,6057	1,6221	3,9993	4,2211	2,2357	4,8229
P ₂ O ₅	24,430	24,263	16,159	13,315	25,369	15,576	17,438	25,362	22,323	23,784	11,647
SO ₃				0,0597	0,1521				0,2563	0,1329	
CaO	68,771	65,435	33,934	42,088	67,384	32,043	36,210	62,500	65,485	69,120	63,680
Fe ₂ O ₃	4,1492	5,3700	4,6163	40,943	4,6015	27,461	25,286	5,6518	4,7252	3,5905	17,837
Cl	0,0281						0,0419		0,0153		
K ₂ O	0,1186		0,2764	0,1001	0,0978	0,6401	0,4236		0,0548		0,1141
MnO		0,2092		0,5123		7,9013					0,4989
Rb ₂ O									0,0647		
SrO	0,4780	0,3296	0,1485	0,2920	0,1956	0,8217	0,2299	0,1770	0,2748	0,5485	0,0889
Y ₂ O ₃	0,0888				0,0344	0,1368	0,0410		0,0593	0,0577	
ZrO ₂		0,0522					0,0433		0,0846		0,0856
Nb ₂ O ₅						0,0859			0,0695		
NiO				0,0950		0,1660					0,1040
MoO ₃		0,2092		0,0499			0,4484		0,1295		
As ₂ O ₃											0,0889
ZnO				0,0598		0,0738					0,0856
TiO ₂			1,5301			1,0700					
Ag ₂ O	0,1582						0,1509	0,1479	0,2066		
CdO									0,1669		
Tc		0,0346							0,0389		
In ₂ O ₃									0,2482		
SnO ₂									0,2208		
RuO ₂								0,1637			
ThO ₂									0,0806		
U ₃ O ₈	0,1813	0,1320	0,1578	0,1614		0,2447	0,1034	0,1413	0,2491	0,2155	

Tabela 2. Resultados de análises FRX envolvendo materiais extraídos de amostras de mármore. 2A e 16B - Mármore invadido por material fosfático avermelhado.

OXIDOS	AF-8A	AF-2A	AF-7A	AF-09B	AF-09A	AF-16B
Al ₂ O ₃	1,1227	0,4539	0,4319	2,4015	3,0784	0,2824
SiO ₂	4,0396	4,0519	2,5665	8,9943	17,817	0,6611
P ₂ O ₅		7,5215	0,2637			5,5986
SO ₃		0,0954	0,0486			0,3142
CaO	91,585	75,134	93,261	81,713	73,423	91,629
Fe ₂ O ₃	1,2979	11,383	2,6245	6,0777	4,7889	0,8107
Cl					0,0338	0,0414
K ₂ O	0,5873	0,0648	0,2391	0,6928	0,7163	0,2060
MnO		0,7445	0,1199			
Rb ₂ O	0,0519		0,4451	0,1207		
SrO	0,2502	0,3583			0,1420	0,4571
Y ₂ O ₃	0,0141					
ZrO ₂	0,0695					
Nb ₂ O ₅	0,2880					
NiO		0,1028				
As ₂ O ₃		0,0902				
MoO ₃	0,0720					
Tc	0,0411					
Ag ₂ O	0,1772					
CdO	0,3294					
ThO ₂						
U ₃ O ₈	0,0742					

Tabela 3 - Resultados de análises FRX de materiais de espeleotemas (*), de rochas félsicas intrusivas nos mármore (**) e anfibolíticas (partes de rochas calcissilicáticas, com anfibólitos dominantes; ***).

6. EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

No contexto mostrado no Capítulo 3, sobre o Domínio Ceará Central (Fig.4), as unidades geotectônicas que interessam, mais de perto, a área estudada são (Fig. 75): **a)** – Um bloco constituído de rochas arqueano-paleoproterozóicas, representado pelo Complexo Cruzeta e unidades cronocorrelatas, tais como a Algodões; **b)** - Uma faixa de dobramentos neoproterozóicos, incluindo o Complexo Ceará, onde encontra-se a área estudada (“Grupo” Itataia); **c)** – Um domínio de migmatitos e granitoides que tem sido relacionado a um arco magmático continental (AMSQ), desde o trabalho de Fetter (1999).

Para amplas áreas do Domínio Ceará Central, uma arquitetura de *nappes* tectônicas neoproterozóicas, idealizada por Caby e Arthaud (1986), tem sido solicitada em trabalhos subsequentes (p.ex., Garcia e Arthaud, 2004; Castro, 2004; Arthaud, 2007).

Nessa arquitetura, a área estudada relaciona-se a chamada *Nappe* de Itatira. Os indicadores metamórficos e de fusão crustal apontam, para os protólitos dos metamorfitos estudados, uma origem sedimentar (pelitos, semi-pelitos, calcários puros e impuros, margas e arenitos puros a argilosos e pobremente feldspáticos; mostrando feições gradacionais ou de variação de fácies sedimentar entre eles). Em decorrência, o ambiente de deposição dessa sequência sedimentar, tipo areias quartzosas-pelitos-carbonatos (QPC – Cavalcante, 1999), foi de bacia de margem continental passiva, tendo como fonte principal as rochas paleoproterozóicas riacianas (2.300-2.050 Ma), tais como aquelas que ocorrem a E e SE da área trabalhada (Complexo Cruzeta, em parte, Unidade Algodões e Suite Madalena; Arthaud, 2007 e Torres *et al.*, 2008; Fig. 5 e Fig.66).

Utilizando-se de informações bibliográficas, principalmente aquelas de Castro (2004) Arthaud (2007) e Araújo *et al.* (2014), pode-se estabelecer uma síntese evolutiva como segue:

1 - Sedimentação em margem continental passiva, envolvendo baixa manifestação magmática ácida (vulcano-plutonismo: riolitos de idades ca. 800 Ma e rochas granodioríticas a tonalítica de 800-870? Ma e básica/basalto de 749 Ma); com as plutônicas representando uma fase inicial de desenvolvimento do AMSQ.

2 - Processos extensionais e soterramento dos sedimentos e vulcanitos (presentes noutras partes da sequência), envolvendo compactação e aquecimento (da diagênese ao metamorfismo burial); plutonismo granítico pré-coliional (630-640/650 Ma), marcando o

franco desenvolvimento do AMSQ; Sedimentação já incorporando detritos provenientes desse AMSQ (zircões detríticos com idades em torno de 650 e 750/800 Ma).

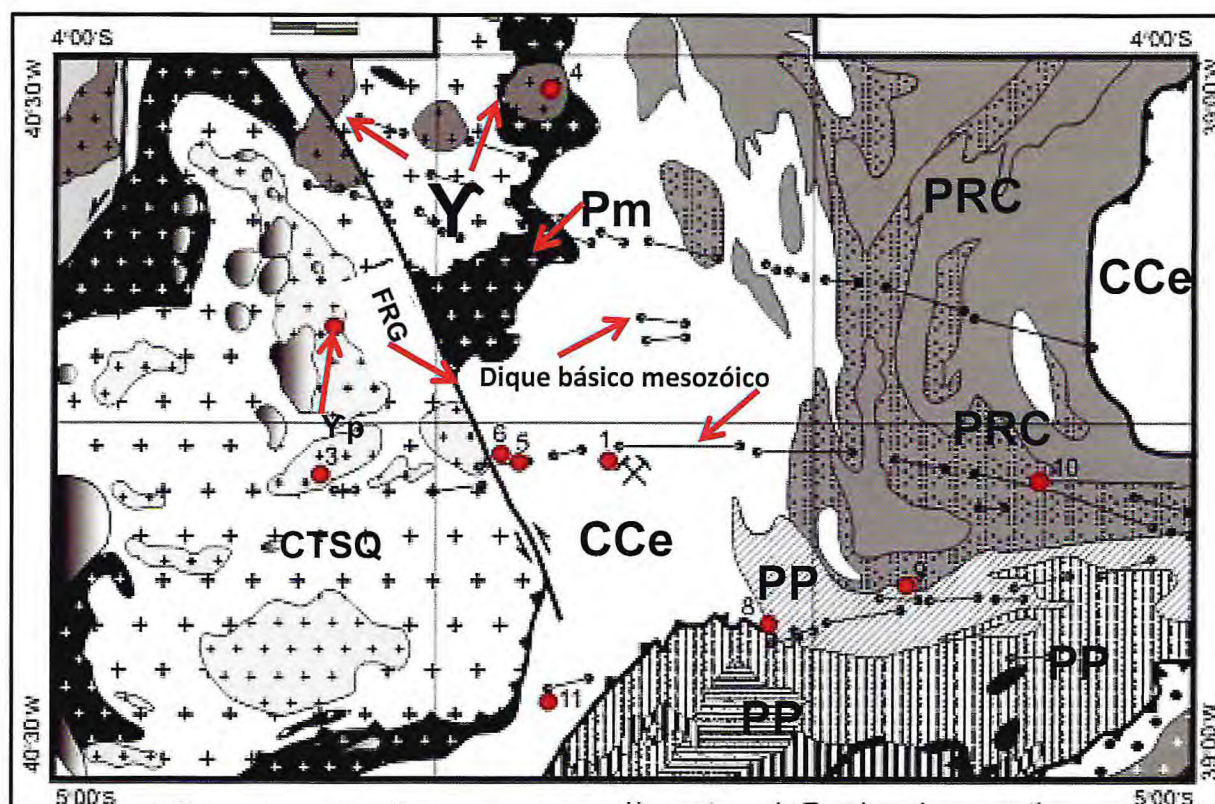


Figura 75. Mapa simplificado da região que interessa mais de perto a área estudada: PP – Rochas paleoproterozóica do Bloco Tróia (Arqueano-Paleoproterozóico) = Embasamento para a sedimentação neoproterozóica; PRC – Embasamento paleoproterozóico (PP) bastante solicitado (metamorfismo, deformação e fusão/migmatização) na evolução das supracrustais neoproterozóicas, incluindo segmentos das mesmas; CCe – Supracrustais neoproterozóicas (Complexo Ceará, onde insere-se a área estudada); Pm – Faixa com migmatitos de paleossoma ortoderivados de idades em torno de 800 Ma; Complexo Tamboril – Migmatitos e granitoides; γ – Corpos graníticos cambro-ordovicianos; Yp) Granito Pajé.. RGF – Falha Rio Grauiras; 1 – Jazida de Itataia. Compilado de Veríssimo *et al.* (2016); símbolos adicionados.

Evolução de *nappes*, onde a superior (Complexo Tamboril-Santa Quitéria) exhibe idade de metamorfismo em torno de 615 Ma. Enquanto o edifício de *nappes*, onde se insere a região (*Nappe Itatira*), mostra idade de pico metamórfico em ca. 605 Ma (Castro 2004).

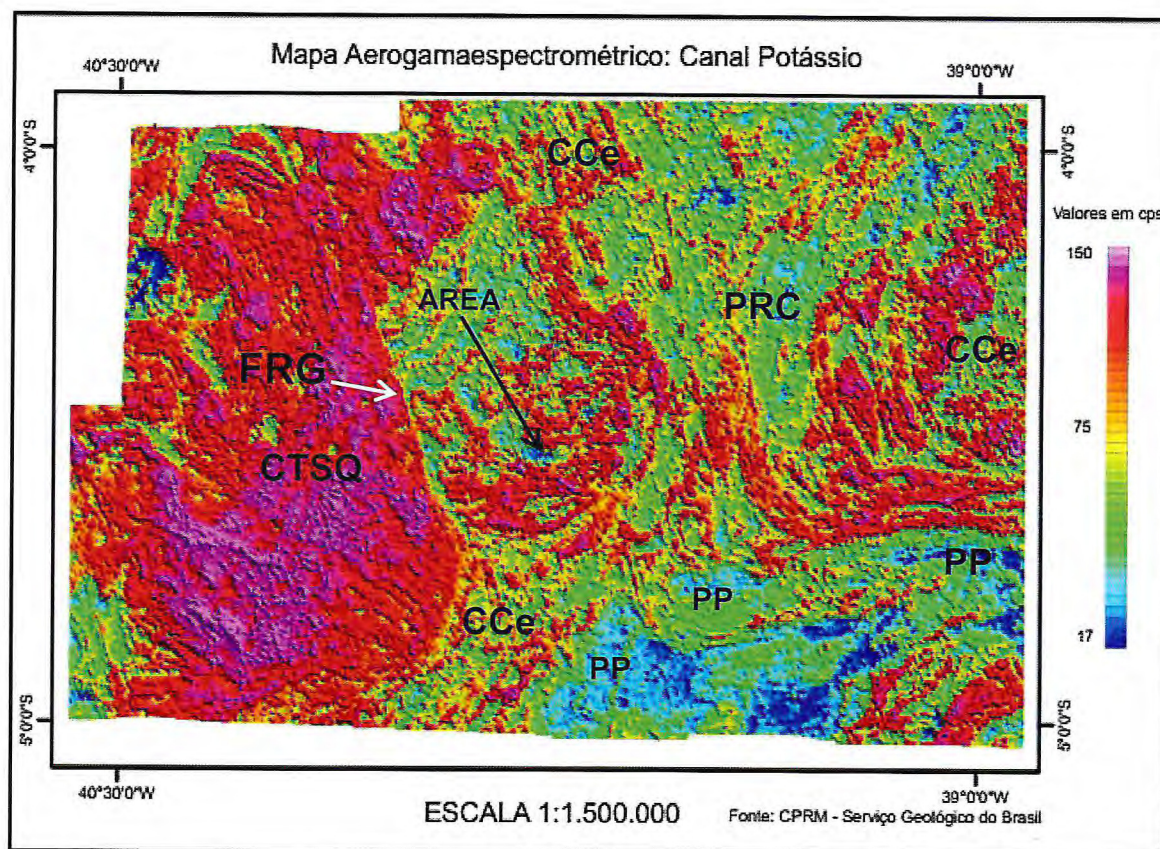


Figura 76. Mapa gamaespectrométrico, canal do K, envolvendo a área da folha Quixadá 1:250.000. Notar a boa qualidade dessa informação no reconhecimento dos principais compartimentos litológicos (áreas de muito baixo a baixo K → principalmente paleoproterozóica – PP; áreas de alto a muito alto → CTSQ e parte do PRC - Fig. 75); área estudada envolvendo valores de muito baixo K passando rapidamente a áreas de alto K) e para o traçado dos principais *trends* estruturais. Legenda: ver Figura 75. Compilado de Torres *et al.* (2008).

3 - Deformação e metamorfismo associados com o evento colisional, espessamento crustal e desenvolvimento de *thrust* (empurrões de W para E); marcado em diversas áreas do DCC (Fig. 76); refletindo uma tectônica com forte sollicitação do embasamento paleoproterozóico, na porção norte do Bloco Tróia (Fig. 76). Para a área estudada, as rochas atingiram a facies anfibolito, chegando a condições de fusão parcial; mas nas proximidades E, ocorrem granada anfibolitos que tem sido descritos como retroeclogitos,

além de cianita xistos interpretados como xistos brancos (Arthaud, 2007), marcando condições de HP e UHP.

4 – Os sedimentos podem ter sido soterrados a profundidades entre 25-30 km, onde sofreram fusão parcial em temperaturas de até 700-750. Com a evolução das fases diatexíticas (grande volume de fundidos, com idades 610 a 625 Ma), observadas, principalmente, na formação do Arco Magmatico Santa Quitéria, tem-se uma importante desestabilização crustal (colapso gravitacional). Contudo, a geração de materiais de fusão de crosta continental, como descrito anteriormente, deve ter se estendido até \approx 600 Ma (Araújo *et al.*, 2014).

5 – Efeitos transpressionais relacionados a fase de extrusão lateral do sistema colisional (iniciada em torno de 590 Ma), definida a partir das zonas de cisalhamento dúctil Sobral Pedro II (esta considerada como uma sutura da colisão entre os domínios Ceará Central e Noroeste do Ceará - Jardim de Sá, 1987; Santos *et al.*, 2009), a NW, e Senador Pompeu, a E. Desta fase, em domínio do AMSQ, tem sido relacionado a geração de granodioritos e monzogranitos porfiríticos. Em termos da área pode corresponder a processos de cisalhamentos, retrometamorfismo e mudanças de trajetórias de eixos de dobras e lineações mineral, desenvolvidos nas fases metamórfico-deformacionais colisionais, com reposicionamento/retrabalhamento dúctil das *nappes*, condições de fácies anfíbolito baixo a xisto verde? (contato de base do Complexo Ceará, na Folha Itatira, é, geralmente, marcado por rochas miloníticas de fácies anfíbolito baixo - Arthaud, 2007). Isto deve associar-se a geração de dobras abertas duplamente mergulhantes de eixos em torno de E-W (com certa sinuosidade) e domos.

6 - Segue-se fases em que o orógeno neoproterozóico foi tectonicamente exumado, onde rochas de cristalização profunda foram trazidas a profundidades de menos que 12 km. Processo que, no caso dos terrenos orientais da Província Borborema, a partir de dados termocrológicos, foi rápido e com desenvolvimento em tempos do Cambro-Ordoviciano, onde níveis crustais profundos foram trazidos à profundidades menores do que 5km, em menos de 130 Ma (Moraes Neto, 2011). A este período relaciona-se a formação de diversos *stocks* de granitoides (p.ex: Taperuaba, São Paulo e Pajé) encaixados em rochas do Complexo Tamboril-Santa Quitéria, considerados como pós-orogênicos ou anorogênicos e, em parte, revelando processo de albitização e anomalias de urânio. Aos quais procura-se relacionar a formação do protominério de Itataia (processo de epissienitação), por vezes admitindo-se que a estrutura dômica de

Morrinhos (W da Jazida de Itataia; Fig. 76) reflete a existência de um corpo granítico, desse período, em subsuperfície.

Também relacionado a esse período, deve ser o desenvolvimento da Falha Rio Groaíras, marcada por importante brechação e silicificação, que na sua extensão NW corta o Granito Pajé (Figura 75), considerado de idade ordoviciana.

7 – Os terrenos anteriores (5), na maior parte do Paleozóico, passaram por uma baixa taxa de resfriamento (segundo modelagem térmica baseada na difusão do argônio em K-feldspatos), “sugerindo que a região manteve-se estável, sob temperaturas < 200°C, entre 460±10 Ma e 200±10 Ma” (Moraes Neto, 2011). É nesse período que a região, como parte soerguida, participa do fornecimento de detritos para o preenchimento da Bacia do Parnaíba, a W.

8 - Em tempos mesozoicos, são registradas diversas fases de resfriamento, desde o Jurássico até o Cretáceo Superior, sendo interpretadas como soerguimentos regionais relacionados a estágios pré e sin-deriva continentais (separação dos continentes Sul-Americano e Africano). Em áreas que interessam mais de perto a região de Itataia, Cavalcante (2006) em estudo termocronológico (TFA) sobre rochas da Zona de Cisalhamento Senador Pompeu, assinala dois períodos de resfriamento, um de idade cretácica (130-90 Ma; temperaturas passando de 120 para 70°) e outro do Paleogeno (30 Ma, com temperatura iniciando em 90° e terminando em 30°, correspondente a atual, em superfície). Esta fase de resfriamento mesozóico, marca importante magmatismo básico (diques de diabásios e/ou microgabros) e hidrotermalismo que, em termos da área trabalhada, é relacionada à formação de veios de quartzo e desenvolvimentos de sistemas de falhas e fraturas, além do provável enriquecimento do jazimento fósforo-uranífero.

9 – Do Neogeno ao Quaternário, ativa-se as fases de degradação da superfície estabelecida no Paleogeno, com recuos de escarpas, formação de depósitos sedimentares de naturezas diversas, por vezes cortados por falhas..

7. CONCLUSÕES

A área como integrante de um segmento das faixas de dobramentos do Neoproterozóico mostra-se constituída basicamente de rochas gnáissicas, variavelmente pouco migmatizadas (metatexitos estromáticos), de protólitos sedimentares (pelitos dominantes), encerra associação mineral da fácies anfibolito (quartzo + feldspato + biotita + granada + sillimanita). Mesmo em faixas miloníticas a sillimanita (fibrolita), por vezes em grande porcentagem, é presente. Esses metamorfitos acontecem similarmente nas denominadas formações Barrigas e Serra do Céu, apenas verificando-se um aumento de tipos mais quartzosos no sentido a base dos quartzitos da Formação Laranjeira. Assim, não foi possível estabelecer uma linha de contato, nem mesmo confirmar aquela já delineada na literatura (Anexo I). Também, não foram encontrados elementos que formalizassem os gnaisses Serra do Céu como unidade de base da sequência.

Quanto às relações entre os gnaisses, rochas calcissilicáticas e mármore são claramente transicionais, tanto por informações de campo como bibliográficas.

A foliação (ou bandamento composicional) mais facilmente reconhecida é um S_n , que se dispõe paralelo ou cortando um S_{n-1} , em zonas de fechamento de dobras recumbentes e inclinadas. Essa quando de uma seção heterogênea, do tipo mármore + rocha calcissilicática, sugere um paralelismo $S_n // S_{n-1} // S_o$. Essa superfície aparece dobrada (dobras abertas com superfícies axiais de altos ângulos e comprimentos de ondas de dezenas a centenas de metros).

Em subsuperfície, define-se para o zona mineralizada uma foliação média com strike = 285° e dip = 27° N. As lineações (eixos de dobras e minerais, principalmente a sillimanita) exibem um direcionamento médio em torno de E-W e com mergulhos baixos para para W e E (dobras) e E (minerais). Quanto as falhas e fraturas, o principal sistema encerra superfícies posicionadas segundo o mesmo padrão direcional anterior e com mergulhos altos; enquanto outros sistemas importantes são os NW, com mergulhos altos a subverticais.

Uma das estruturas mais corriqueiras no domínio metacarbonático são os boudins, desde dimensões de poucos centímetros a metros, envolvendo principalmente calcissilicáticas e leucogranitóides (incluindo os chamados epissienitos).

Regionalmente, as principais áreas mineralizadas mostram suas maiores dimensões conforme a direção dos principais traços de foliação e fraturas/falhas, ou seja em torno de E-W. Isto reflete, regionalmente, o traçado de importantes diques básicos mesozoicos (Cretáceo).

Alguns dados de campo e de laboratório sugerem um estudo mais apurado de compatibilidade litogeoquímica entre os diversos litotipos da região, visando a influência do magmatismo granítico eopaleozóico na geração da jazida fósforo-uranífera de Itataia, tendo em vista que várias informações atuais o coloca em posição de destaque.

As análises de DRX apontam para a presença de um material colofanítico constituído principalmente por fluorapatita e hidroxiapatita, ambas coexistindo ou não em um mesmo minério. Trabalhos anteriores registram duas gerações de fluorapatita, sendo a primeira relacionada a fase hidrotermal de maior temperatura e ligada ao fenômeno de albitização e aporte de urânio, enquanto a segunda de mais baixa temperatura se apresenta ligada a geração de hidroxiapatita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. R.; PARENTE, C. V.; ARTHAUD, M. H. **Folha Itatira- SB.24-V-B-V, escala 1:100.000: nota explicativa integrada com Quixeramobim e Boa Viagem**. Fortaleza-Ceará, Convênio UFC-CPRM, 2007.
- AMARAL, W.S. **Integração de dados aerogeofísicos e geológicos e sua contribuição a evolução geodinâmica do Domínio Ceará Central, Província Borborema**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de Campinas, Campinas, 2007.
- ANDRADE V. A. de; CAMPOS, M. de; BRAGA, A. de P. G. **Geoquímica da Área de Morrinhos – Ceará**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., **Anais...** Salvador: SBG, 1982. v. 5, p. 1899-1911. 1982.
- ANGEIRAS, A. G.; NETO, A. M.; CAMPOS, M. **Mineralização fósforo-uranífera, associada a epissienitos sódicos no Pré-Cambriano cearense**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., **Anais...** Recife: SBG, 1978. v. 1, p. 341. 1978.
- ARAÚJO, C.E.G. de, CORDANI UMBERTO G., WEINBERG R.F., BASEI M.A.S., ARMSTRONG R., SATO K. **Tracing Neoproterozoic subduction in the Borborema Province (NE-Brazil): Clues from U-Pb geochronology and Sr-Nd-Hf-O isotopes on granitoids and migmatites** . *Lithos* 202-203 :167-189. 2014.
- ARTHAUD, M. H. **Evolução Neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): Da Sedimentação À Colisão Continental Brasileira**. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de Brasília, 2007.
- ARTHAUD, M. H. **Mapa Geológico - Folha Itatira - SB.24-V-B-V, escala 1:100.000** . Fortaleza – Ceará, Convênio UFC-CPRM, 2008.
- BRITO NEVES, B.B.; SANTOS, E.J.; VAN SCHMUS, W.R. **Tectonic history of the Borborema Province, northeast Brazil**. In: Cordani, U.G.; Milani, E.J.; Thomaz Filho, A.; Campos, D.A. (eds.). Ed. Esp. XXXI International Geological Congress, SBG, Rio de Janeiro, Brasil, p.151-182. 2000.
- BRITO NEVES, B.B; FUCK ; PIMENTEL. **The Brasiliano collage in South America: a review**. Brazilian journal of geology, vol. 44(3): 493-518. São Paulo. 2014

- CABY, R., ARTHAUD, M.H., ARCHANJO C.J. *Lithostratigraphy and petrostructural characterization of supracrustal units in the Brasiliano Belt of Northeast Brazil: geodynamic implications*. Journal of South American Earth Sciences, **8**, 235-246. 1995.
- CABY, R.; ARTHAUD, M. H. *Major Precambrian nappes of the Brazilian Belt. Ceará, Northeast Brazil*. *Geology*, Boulder, n. 14, p. 871-874, 1986.
- CASTRO, N. A. *Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taparuaba, Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema)*. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 221 p. 2004.
- CASTRO, N.A.; BASEI, M.A.S.; ONOE, A.T. *Phosphorous-Uraniferous Mineralization at Itataia (Ceará State, Brazil): Geological Aspects and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ Age*. In: V SSAGI, ABSTRACTS, 603, p. 1-4. 2005.
- CASTRO, G.L. *et al. Isótopos de carbono e oxigênio dos mármores associados com o depósito fósforo-uranífero de Itataia, Ceará*. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.32, n.2, p.199-208, 2005.
- CAVALCANTE, J. C. *Evolução geodinâmica do Sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, 178p. Natal, 1999.
- CAVALCANTE, J. C. *et al. Mapa geológico do Ceará – Escala 1: 500.000*. Fortaleza, MME/CPRM, 2003.
- CAVALCANTE, A. S. Á. *Evolução Termocronológica Do Sistema De Falhas Senador Pompeu – Ce*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, Natal, 70 p., 2006..
- CAVALCANTI, J. A. D; BESSA, M.D.M.R; VERÍSSIMO, C.U.V.; PARENTE, C.V. *On the Origin of the Collophanites of Itataia Uranium-Phosphorus Deposit, Borborema Province, Brazil*. In: III Simpósio Brasileiro de Metalogenia, Gramado, Rio Grande do Sul, 2013.
- COSTA, F. G. da. *Mapa Geológico - Folha Crateús; SB.24-V-C-II, escala 1:100.000*. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2011.

FAVALI, J.C.; LEAL, J.R.L.V. **Contribuição ao estudo das mineralizações fosfática e uranífera da jazida de Itataia., Ceará.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. Anais... Salvador: SBG, 1982. v.5, p.2022-2034

FETTER, A. H. ***U/Pb and Sm/Nd Geochronological Constraints on the Crustal Framework and Geologic History of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the Assembly of Gondwana.*** Thesis (PhD), Department of Geology, Kansas University, Kansas, 164 p., 1999.

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 the Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the existence of the paleoproterozoic supercontinent "Atlantica".*** Revista Brasileira de Geociências, 30 (1): 102-106, 2000.

GARCIA, M. G. M.; ARTHAUD, M. H. ***Caracterização de trajetória P-T em nappes brasileiras: região de Boa Viagem/Madalena – Ceará Central (NE Brasil).*** Revista de Geologia, Universidade Federal do Ceará, 17:173-191. 2004.

JARDIM DE SÁ, E.F.; MEDEIROS, W.E. DE; CASTRO, D.L DE. 1997. ***Contribuição da gravimetria aos modelos de estruturação crustal da Província Borborema, Nordeste do Brasil.*** In: SBG/Núcleo Nordeste, Simpósio de Geologia do Nordeste, 17, Fortaleza, Atas, Boletim 15, 352-357.

JARDIM DE SÁ, E.F. 1994. ***A Faixa Seridó (Província Borborema NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana.*** Tese (Doutorado em Geologia) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 803 p.

MENDONÇA, J.C.G.S.; BRAGA, A.P.G.; CAMPOS, M. 1980. ***Considerações sobre a mineralização fósforo-uranífera da jazida de Itataia-CE.*** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980, Santa Catarina. Anais... Santa Catarina: SBG, 1980. v. 4, p. p.2472-2486.

MENDONÇA, J. C. G. S. *et al.* ***Caracterização estratigráfica dos metassedimentos da região de Itataia – Ceará (Grupo Itataia).*** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. Anais... Salvador: SBG, 1982. v. 1, p. 325–338.

MENDONÇA, J. C. G. S. MENDONÇA, J.C.G.S.; CAMPOS, M.; BRAGA, A.P.; SOUZA, E.M.; FAVALI, J.C; LEAL, J.R.L.V. **Jazida de Urânio de Itataia-CE**. In: Brasil - Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais depósitos minerais do Brasil, Brasília, 1985. v. 1, p. 121-131.

MONIÉ, P.; CABY, R.; ARTHAUD, M. H. **The Neoproterozoic Brazilian orogeny in northeast Brazil: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and petrostructural data from Ceará**. Precambrian Research, 81: 241-264, 1997.

MORAIS NETO, J.M.. **Termocronologia aplicada a estudos de exumação regional: Ferramentas, limitações e aplicação na Borborema oriental**. In: XIII SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS. VII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS. Campinas, SBG, 2011.

NETTO A.M.; MEYER A.; CUNEY M.; POUPEAU G. **A thermo-geochronological study of the Itataia phosphouraniferous deposit (Ceará, Brazil) by analyses: genetic implications**. In: **Source Transport and Deposition of apatite fission track Metals**. In: Pagel, M. and Leroy, J.L., eds., Proceedings of the 25 Years SGA Anniversary Meeting, 1991

PARENTE *et al.* **Depósitos de escarnitos mineralizados em ferro e cobre do arco magmático de Santa Quitéria, Ceará, Província Borborema do Nordeste do Brasil**. São Paulo, *Brazilian Journal of Geology*, 45(3): 359-382, 2015.

PESSOA, R. R.; ARCHANJO, C. J. **Tectônica de empurrões na região de Tróia-CE**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SGB, 1984. p. 1721-1728, 1984.

PROJETO RADAMBRASIL. **Mapa Geológico, Folhas Jaguaribe-Natal: SB-24/25**, Ministério das Minas e Energia, Secretaria Geral, Programa de Integração Nacional. 1981.

SAAD, S.; MUNNE, A.L.; TANAKA, A.Y. **Proposição de um novo modelo genético para a jazida de Itataia**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984. p.1410-1423, 1984.

SANTOS, T.J., GARCIA, M.G., AMARAL, W.S., *et al.* **Relics of eclogite facies assemblages in the Ceara Central Domain, NW Borborema Province, NE Brazil:**

Implications for the assembly of West Gondwana. GONDWANA RESEARCH; v. 15, n. 3-4, p. 454-470. Junho, 2009

SANTOS *et al.* ***Metalogênese das porções norte e central da província Borborema.*** In: Silva, Maria da Glória da; Rocha Neto, Manuel Barreto da; Jost, Hardy; Kuyumijan, Raul Minas (Org). *Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras*, 343-384. CPRM, Belo Horizonte. 2014.

SILVA, J. R. A. ***Caracterização hidrogeológica da Jazida de Itataia, Ce.*** Dissertação (Mestrado), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 156 p., 2003.

SPEAR, F. S., KOHN, M. J. & CHENEY, J. T. ***P-T Paths from Anatectic Pelites.*** *Contributions to Mineralogy and Petrology* 134, 17–32. 1999.

SUDENE. ***Mapa Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará, escala 1:600.000.*** Brasil, MA/SUDENE, 1973.

TORRES, P.F.M.; CAVALCANTE, J.C., PALHETA, E.S.M., VASCONCELOS, A.M.; OLIVEIRA, F.V. ***Programa Levantamentos Geológicos Básicos – Serviço Geológico do Brasil - CPRM.*** Folha Quixadá (SB-24-V-B), escala 1:250.000. (*em prep.*).

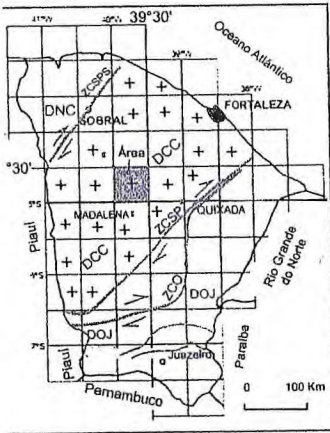
VAN SCHMUS, W. R.; BRITO-NEVES, B. B.; HACKSPACHER, P. C.; FETTER, A. H.; KOZUCH, M.; DANTAS, E. L.; BABINSKI, M. ***The Borborema Province: a collage of polycyclic domains in NE Brazil.*** 17º Simpósio de Geologia do Nordeste, SBG, 1997.

VERÍSSIMO, C.U.V.; SANTOS, R. V.; PARENTE, C. V.; OLIVEIRA, C. G. de; CAVALCANTI, J.A.D; NOGUEIRA NETO, J. de A. ***The Itataia phosphate-uranium deposit (Ceará, Brazil) new petrographic, geochemistry and isotope studies.*** *Journal of South America Earth Sciences*, 70, p. 115-144. 2016

ZINCONI, S. A. ***Petrogênese do Batólito Santa Quitéria: implicações ao magmatismo Brasileiro na porção norte da Província Borborema, NE Brasil.*** Dissertação (mestrado), Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas-SP. 179p, 2011.

ANEXOS

Localização da área no Estado do Ceará (1)



Localização da área (A) no cenário de Maciços Resistentes e da Depressão Sertaneja, na Folha Itaituba.

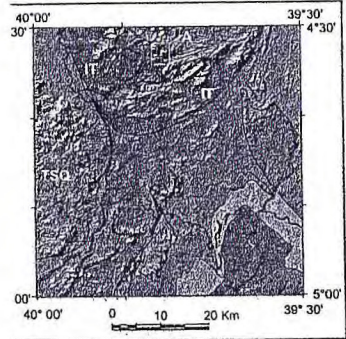
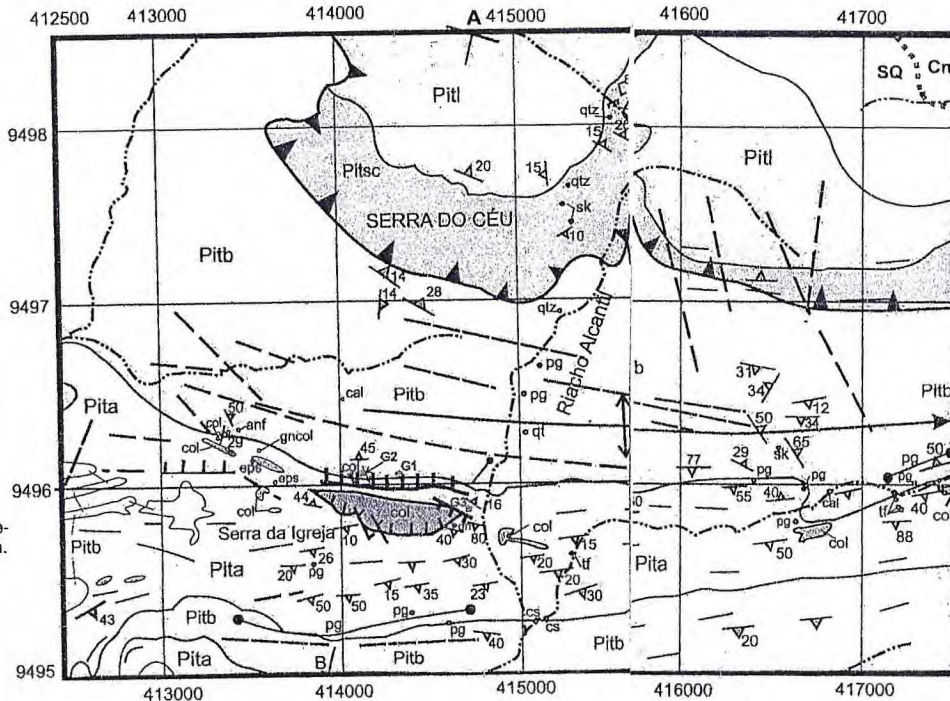


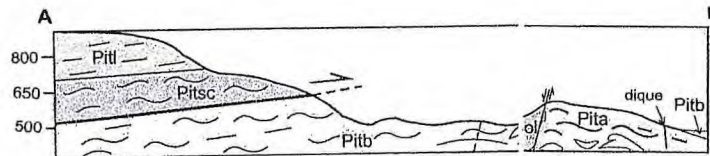
Imagem resultante da fusão MDT 30m x unidades/unidades de mapeamento [p.ex: IT - Subunidade Itaituba (área do Grupo Itaituba) do Complexo Ceará; TSQ - Complexo Tamboril-Santa Quitéria].

1 - Realiza-se para o posicionamento da área em relação aos principais compartimentos tectônicos (DNC - Domínio Noroeste do Ceará ou Médio Coreauá; DCC - Domínio Ceará Central; DOJ - Domínio Orós-Quararibe. Zonas de cisalhamentos: ZCSPS - Sobra-Pedro II, ZCSP - Senador Pompeu; ZCO - Orós).
2 - Mapa geológico modificado do Mapa 7.1 14 do Projeto Santa Quitéria (2013). Encarte 2 recortado do Mapa Geológico da Folha Itaituba SB-24-V-B-V (Arthaud, 2008).



Escala: 1:20.000

MAPA GEOLÓGICO



Seção geológica esquática

08/2016

LEGENDA

Estratigrafia

Eopaleozóico

- Leucogranitóide (pegmatóide) em jazimento diqueiforme.
- Formação Alcantil:** Calcários cristalinos (mármore) puros e impuros ("tipos mais impuros ricos em piroxênio, anfibólio e flogopita"), rochas calcissilicáticas e escarnitos.
- Formação Barrigas:** Sillimanita-biotita gnaisses, dominantes, e bota gnaisses, ambos granodíferos, encerrando, localmente, fácies cloritizadas, milonitizadas e migmatizadas.
- Formação Laranjeiras:** Quartzitos puros e micáceos, localmente ferríferos com algum feldspato e sillimanita.
- Formação Serra do Céu:** Migmatitos dominantes, gnaisses feldspatizados, biotita gnaisses migmatizados, com granada ± sillimanita, anfibólio gnaisses e prováveis metarcóseos (leucognaisses).

Principais zonas fósforo-uraníferas:

- Col** Colofanito do tipo maciço, em níveis contínuos, preenchendo fraturas e cavidades, e do tipo disseminado formando zonas de stockwork.

Estrutural: Foliação e fratura com valores de mergulhos; Fratura ou falha fotointerpretada; Falha normal; Zona de cisalhamento dúctil Inversa; Trend de superfície S.

Planimetria: Curso d'água intermitente. Limite Intermunicipal
SQ - Santa Quitéria; Cn - Canindé.

G1 Entrada de galeria (jazida fósforo-uranífera de Itaituba).

Afloramento x litotipo (cs):

pg - leucogranitóide de granulação grossa a muito grossa (pegmatóide), col - colofanito; gncol - gnaisses com colofanito; anf - anfibólito; cs - calcissilicática; qtz - quartzo; qt - quartzito; gn - gnaisses; eps - episienito; sk - escarnito; lf - tufa.

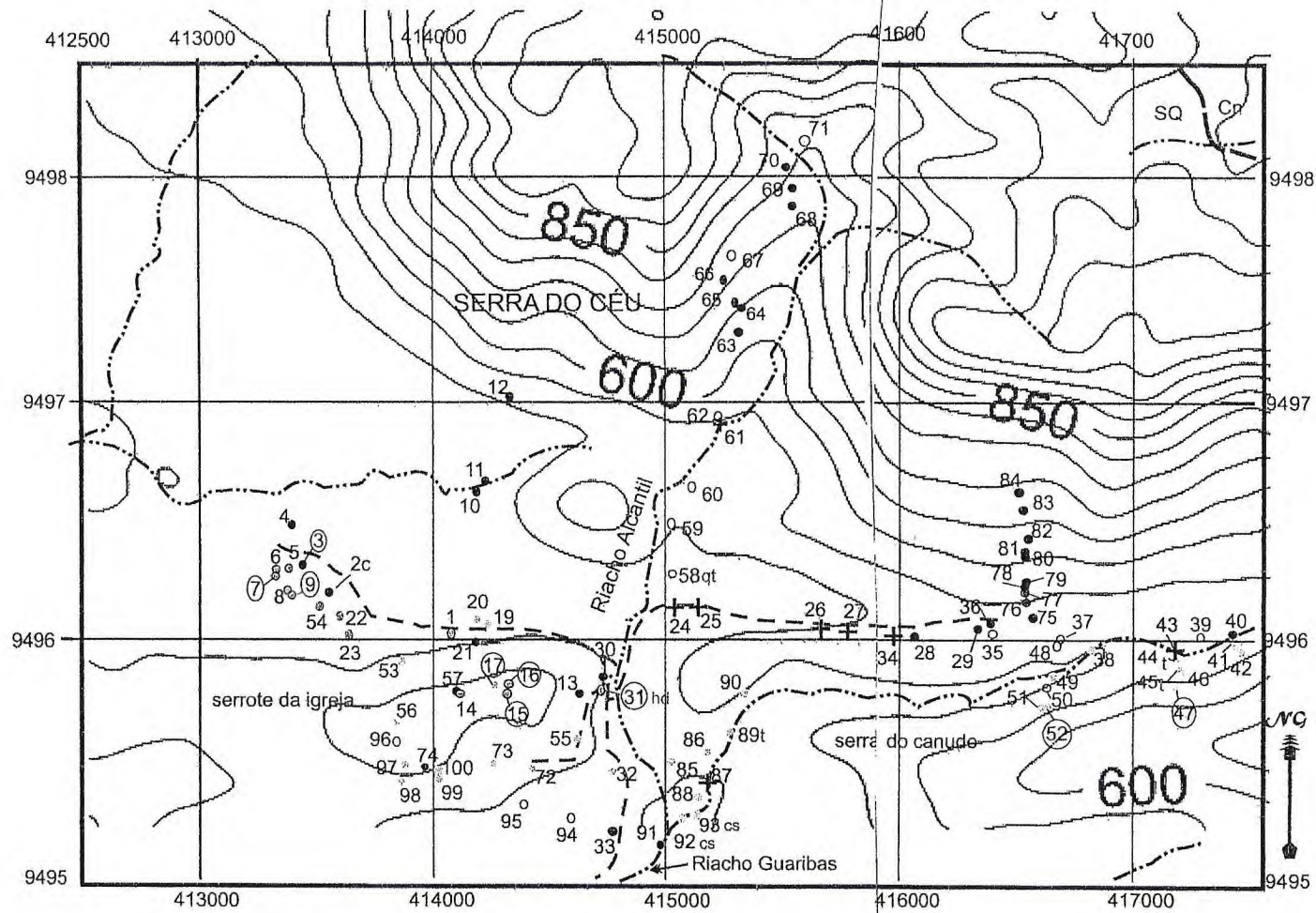
ANEXO I ao Trabalho de Conclusão de Curso intitulado de: «Novas contribuições sobre a Geologia da Região de Itaituba (CE)».

Aluno: Ana Flávia da C. Cavalcante

Orientador: Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo

ANEXO II

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



LEGENDA

Pontos com afloramentos de rochas

- Gnaisse ou migmatito
- Mármore ○ Quartzito
- Mármore + colofanito
- cs Rocha calcissilicática
- Colofanito ○ Pegmatito
- Escarnito ● Epislénito
- Anfibolito ○ qt Quartzo
- hd Hidrotermalito † Tufa
- ①; ①6; ③5 - Pontos amostrados com: análises petrográficas; DRX+ FRX; e ambas.

Pontos à amarração planimétrica

- + Córrego

Planimetria

- Curso d'água intermitente
- Estrada de terra e caminho.
- Cn Limite intermunicipal:
Cn - Canindé e SQ - Santa Quitéria

Altimetria

- Curva de nível

Escala: 1:20.000



MAPA DE PONTOS

08/2016

ANEXO II ao Trabalho de Conclusão de Curso intitulado de:
«Novas contribuições sobre a Geologia da Região de Itaitaia (CE)».

Aluno: Ana Flávia da C. Cavalcante

Orientador: Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo