



UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ



FACULDADE DE
GEOLOGIA



INSTITUTO DE
GEOCIÊNCIAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MATEUS MACHADO MORGADO

**MINERAIS PESADOS E PETROGRAFIA DA TRANSIÇÃO ENTRE AS
FORMAÇÕES MONTE ALEGRE E ITAITUBA, PENNSILVANIANO DA BACIA DO
AMAZONAS, REGIÃO DE ITAITUBA - PA**

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM – PA

DEZEMBRO – 2016

MATEUS MACHADO MORGADO

**MINERAIS PESADOS E PETROGRAFIA DA TRANSIÇÃO ENTRE AS
FORMAÇÕES MONTE ALEGRE E ITAITUBA, PENNSILVANIANO DA BACIA DO
AMAZONAS, REGIÃO DE ITAITUBA - PA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Geologia da Universidade
Federal do Pará – UFPA, em
cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Bacharel em
Geologia.

Orientador: Prof. Dr. José
Bandeira Cavalcante da Silva
Júnior

BELÉM

2016

MATEUS MACHADO MORGADO

**MINERAIS PESADOS NA TRANSIÇÃO ENTRE AS FORMAÇÕES MONTE
ALEGRE E ITAITUBA, PENSILVANIANO DA BACIA DO AMAZONAS, REGIÃO
DE ITAITUBA - PA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Geologia da Universidade Federal
do Pará – UFPA, em cumprimento
às exigências para obtenção do
grau de Bacharel em Geologia.

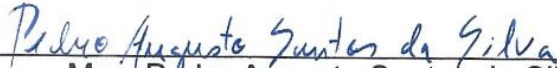
Orientador: Prof. Dr. José
Bandeira Cavalcante da Silva
Júnior

Data de aprovação: 17 / 11 / 16

Conceito: Bom

Banca examinadora:


Prof. José Bandeira Cavalcante da Silva Júnior
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará


Msc. Pedro Augusto Santos da Silva - Membro
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará


Msc. Renato Sol Paiva de Medeiros - Membro
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Morgado, Mateus Machado 1992-

Minerais pesados na transição entre as formações Monte Alegre e Itaituba, pensilvaniano da Bacia do Amazonas, região de Itaituba - PA / Mateus Machado Morgado. – 2016.

61 f : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: José Bandeira Cavalcante da Silva Júnior.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2016.

1. Minerais pesados – Itaituba (PA). 2. Geologia estratigráfica – Itaituba (PA). 3. Sedimentologia – Itaituba (PA). I. Título.

CDD 22 ed.: 552.5098115

A Dra. Dorothee Mertmann.

“Fazer parte da sociedade é uma
amolação, mas estar excluído dela é
uma tragédia” -Oscar Wilde

RESUMO

Afloramentos do contato entre a Formação Monte Alegre e Itaituba foram descritos numa área da margem esquerda do Rio Tapajós, em uma região próxima à cidade de Itaituba, no estado do Pará. Os afloramentos na base são caracterizados por arenitos eólicos pertencentes à Formação Monte Alegre, que mudam gradualmente para folhelhos, carbonatos e arenitos de ambiente marinho raso e lagunar dominados por maré da Formação Itaituba. Com o intuito de adicionar dados à região, amostras foram submetidas a análise de minerais pesados e a petrografia de lâminas delgadas. A análise foi realizada na fração muito fina de 22 amostras coletadas e incluiu a identificação e quantificação do conteúdo de minerais pesados transparentes, com a determinação dos índices ZTi, RuZi e GZi. Arenitos da Formação Monte Alegre foram classificados petrograficamente como quartzoarenito e subarcósio de granulometria fina a média. Os minerais pesados e as suas porcentagens médias são: zircão (59%), turmalina (26%), rutilo (6%), biotita (7%), granada (2%), estauroлита (2%), monazita (1%) e apatita (1%). As amostras da Formação Itaituba são químicas, composta pelos dolomitos com terrígenos e *grainstone*, ou terrígenas, classificadas como subarcósio. Os minerais pesados para esta formação são: granada (56%), turmalina (14%), zircão (12%), apatita (10%), rutilo (7%), biotita (7%) e estauroлита (3%). Os valores médios do índice RuZi variam, respectivamente da Formação Monte Alegre e Itaituba, 9,5 a 39, o valor de ZTi varia de 69 a 39,5 e os valores médios do índice GZi variam de 3 a 82.. Estudos anteriores indicam que terrenos Mesoproterozóicos, representados pelo Cinturão K'mudku e pela Província Geocronológica Sunsás, foram as fontes de sedimentos dominantes para as formações estudadas. Com destaque para dados geocronológicos de zircão da Formação Monte Alegre apresentando os seguintes intervalos: 551,9-969,2 Ma (56%), 1,20-1,53 Ga (36%) e 2,1-2,6 Ga (8%). Os dados varietais de minerais pesados da formação também indicam como fontes rochas ígneas piroclásticas e materiais reciclados de origem sedimentar. A transição para a Formação Itaituba é marcada por uma mudança na área fonte dos sedimentos com a predominância de minerais pesados de origem metamórfica.

Palavras-chave: Minerais pesados. Formação Monte Alegre. Itaituba. Proveniência.

ABSTRACT

Outcrops from the contact between Monte Alegre and Itaituba Formation at the left bank of the Tapajós river, in a location near Itaituba, a city located in the state of Pará, were described. The lowermost outcrops were described as aeolian sandstones belonging to the Monte Alegre Formation that gradually changes to lagoon and shallow marine/tidal shales, carbonates and sandstones of the Itaituba Formation. In summary, the sandy samples were submitted to heavy minerals analysis and thin section petrography. Heavy minerals analysis was performed in the very fine sand fraction of 22 samples collected from outcrops and included identification and quantification of the transparent heavy minerals content as well as determination of ZTi, RuZi and GZi indices. The Monte Alegre Formation sandstones were described as fine- to medium-grade quartzarenite and subarkose. Heavy minerals and their mean percentages are: zircon (59%), tourmaline (26%), rutile (6%), biotite (7%), garnet (2%), staurolite (2%), monazite (1%) and apatite (1%). The samples of Itaituba Formation are chemical sedimentary rocks, composed by terrigenous dolomite, grainstone and subarkose. Identified heavy minerals and their mean percentages are: zircon (59%), tourmaline (26%), rutile (6%), biotite (7%), garnet (2%), staurolite (2%), monazite (1%) and apatite (1%), for the latter: garnet (56%), tourmaline (14%), zircon (12%), apatite (10%), rutile (7%), biotite (7%) and staurolite (3%). The mean values for Monte Alegre and Itaituba Fm. of the RuZi index ranged, respectively from 9.5 to 39, the mean values of the ZTi index ranged from 69 to 39.5 and the GZi index ranged from 3 to 82. Because of this last parameter, two samples previously described as from Monte Alegre Fm. were relocated to the Itaituba Fm. Previous studies suggest that Mesoproterozoic terrains, represented by the K'Mudku Belt and the Sunsás Geochronological province, were the dominant source rocks of that Formations. Zircon ages from samples of Monte Alegre Formation showed the following data: 551.9-969.2 Ma (56%), 1.20-1.53 Ga (36%) e 2.1-2.6 Ga (8%). The heavy minerals varietal studies showed pyroclastic-igneous rocks and recycled sediments from other sedimentary rocks. The transition to the Itaituba Formation is characterized by a change to a source area with predominantly metamorphic rocks.

Keywords: Heavy minerals. Monte Alegre Formation. Itaituba. Provenance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Mapa de localização da região estudada, com destaque para a geologia da região e posicionamento dos pontos de coleta	16
Figura 2-	Equipamento de separação dos minerais pesados.....	18
Figura 3-	Mapa de localização e limites da Bacia do Amazonas.....	20
Figura 4-	Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas	24
Figura 5-	Detalhes dos afloramentos estudados. A, B: Afloramentos da Formação Monte Alegre, fácies Amp. C: Fácies App e Aba, compondo o subambiente de interdunas/lençol de areia. Seta indica alternância marcada de granulometria. D: Traço fóssil de Lockeia em arenito da Formação Monte Alegre. E: Seção da Formação Itaituba com alternância de delta de maré e laguna. F: Arenito com laminação cruzada cavalgante supercrítica. G: Fóssil de gastrópode substituído por carbonato cristalino, na Formação Itaituba.	30
Figura 6-	Perfis estratigráficos das unidades estudadas, com posicionamento das amostras descritas.	31
Figura 7-	Arenitos da Formação Monte Alegre, região de Itaituba-PA. A e B: aspectos gerais da lâmina de quartzo-arenito. C: grãos de quartzo fraturado. D: Grão de quartzo policristalino de rocha metamórfica (Qm) e sobrecrecimento de sílica (seta branca). E: Grão de F-K alterado (F-K). F: Quartzo monocristalino (Q) e coating de argilominerais (seta branca). Fotos A e E com nícois paralelos. Fotos B, C, D e F com nícois cruzados.	35
Figura 8-	Fotos petrográficas de lâminas de amostras da Formação Itaituba, região de Itaituba-PA. A: Aspecto geral da amostra de dolomito. B: Dolomita fina com fragmentos de grãos siliciclásticos e um bioclasto indiferenciado. C: Textura xenotópica dos cristais de dolomita e grãos terrígenos de quartzo e microclina. D: aspecto geral do dolomito com bioclastos. E: aspecto geral do subarcósio da Fm. Itaituba.	36

Figura 9-	Dados gerais sobre a quantidade total de grãos contados da Formação Monte Alegre.	37
Figura 10-	Dados gerais sobre a quantidade total de grãos contados da Formação Itaituba. O: Opacos. T: Transparentes.	38
Figura 11-	Aspectos gerais dos rutilos descritos. MT: Grãos de amostras da Formação Monte Alegre IT: Grãos de amostras da Formação Itaituba	40
Figura 12-	Aspectos gerais dos zircões. 1: Exemplares das amostras MT-1A, B, C. 2: Amostras MT-2A, B. 3: Amostras MT-3A, B, C, D. 4: Amostras IT-1C, F.	41
Figura 13-	Aspectos gerais das Turmalinas. 1: Exemplares das amostras MT-1A, B, C. 2: Amostras MT-2A, B. 3: Amostras MT-3A, B, C, D. 4: Amostras IT-1C, F.	42
Figura 14-	Aspectos gerais das granadas. MT: Grãos de amostras da Formação Monte Alegre IT: Grãos de amostras da Formação Itaituba.....	43
Figura 15-	Aspectos gerais das Apatitas encontradas em amostras da Formação Itaituba	44
Figura 16-	Aspectos gerais dos minerais raros encontrados nas amostras das formações Monte Alegre e Itaituba. Bt: Biotita, Mo: Monazita, An: Anatásio.	45
Figura 17-	Plotagem das tabelas RuZi x GZi em gráfico	47
Figura 18-	Plotagem das tabelas ZTi x RuZi em gráfico.....	47
Figura 19-	Relação estratigráfica das amostras, minerais pesados e índices de minerais pesados vista em perfil composto e sem relação métrica entre as mesmas. GZi: razão granada:zircão, RuZi: razão rutilo:zircão, ZTi: razão zircão:turmalina. Z: zircão, T: Turmalina, Gr: Granada, Ap: Apatita, O: Outros. Tracejado curto: Limite das formações definidas em campo, tracejado longo: Limite das formações definidas com base nos minerais pesados. D: indica que os arenitos da formação, em geral, apresentam cimentação dolomítica.....	48

- Figura 20- Bacias Sedimentares Paleozóicas Sul-americanas durante o final do Carbonífero (302 Ma) com destaque para as províncias Mesoproterozóicas do Cráton Amazônico. E: Evaporitos, R: red beds. Seta indica direção do aporte sedimentar. Quadrado indica a provável localização da área estudada durante o final do carbonífero.50
- Figura 21- Proposta paleoambiental da região de Itaituba durante o Bashkiriano (Carbonífero). Seta indica direção do aporte sedimentar.....51
- Figura 22- Proposta paleoambiental da região de Itaituba durante o Moscoviano (Carbonífero). Seta azul indica direção do aporte sedimentar, seta preta indica sentido da transgressão.....51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Determinação de índices indicadores de proveniência (GZi, RZi, ATi) e também de retrabalhamento sedimentar (ZTi)	19
Tabela 2- Índice de frequência dos minerais pesados	39
Tabela 3- Dados em porcentagem das contagens de grãos. Os valores de porcentagem para os minerais transparentes excluem os opacos e o valor total de opacos é sobre o total de transparentes. Mt= Formação Monte Alegre, IT= Formação Itaituba.	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	LOCALIZAÇÃO E ACESSO	16
3	OBJETIVOS.....	17
3.1	Geral.....	17
3.2	Específico	17
4	MATERIAIS E MÉTODOS	18
5	GEOLOGIA REGIONAL	20
5.1	Bacia do Amazonas.....	20
5.2	Embasamento.....	21
5.3	Evolução Estrutural.....	21
5.4	Estratigrafia.....	22
6	REVISÃO DE CONCEITOS.....	25
6.1	Minerais pesados.....	25
6.1.1	Transporte	25
6.1.2	Diagênese.....	26
6.1.3	Intemperismo	27
6.2	Índices de minerais pesados	27
7	RESULTADOS	29
7.1	Descrição dos afloramentos	29
7.2	Descrição petrográfica.....	32
7.2.1	Descrição de lâminas da Formação Monte Alegre	32
7.2.2	Descrição de lâminas da Formação Itaituba.....	33
7.3	Dados gerais.....	37
7.3.1	Formação Monte Alegre	37
7.3.2	Formação Itaituba.....	38
7.4	Análise convencional	38
7.5	Análise varietal	40
7.5.1	Rutilo.....	40
7.5.2	Zircão.....	40
7.5.3	Turmalina.....	42
7.5.4	Granada.....	43

7.5.5	Apatita.....	44
7.5.6	Biotita.....	44
7.5.8	Anatásio.....	45
7.6	Análise de índices.....	45
7.7	Proveniência.....	49
8	DISCUSSÃO.....	52
9	CONCLUSÕES.....	54
	REFERÊNCIAS.....	55
	APÊNDICE.....	59

1 INTRODUÇÃO

A transição entre a Formação Monte Alegre e a Formação Itaituba na Bacia do Amazonas é marcada pela passagem de um sistema flúvio-eólico, representado pelas rochas siliciclásticas da Formação Monte Alegre para um sistema marinho de plataforma carbonáticas em consequência da transgressão de um mar epicontinental (LIMA 2010). A primeira formação foi descrita com a idade neobashkiriana (PLAYFORD; DINO, 2000 apud CUNHA et al., 2007), e inicia-se com a deposição de arenitos eólicos e de *wadis*, intercalados por siltitos e folhelhos de interdunas e lagos (COSTA, 1984 apud CUNHA et al., 2007). Com a continuidade do processo transgressivo, folhelhos, carbonatos e anidritas de fácies lagunar e marinho rasa/inframaré foram depositados, sendo chamada de Formação Itaituba, com idade neobashkiriana – moscoviana (LEMOS, 1990 apud CUNHA et al., 2007).

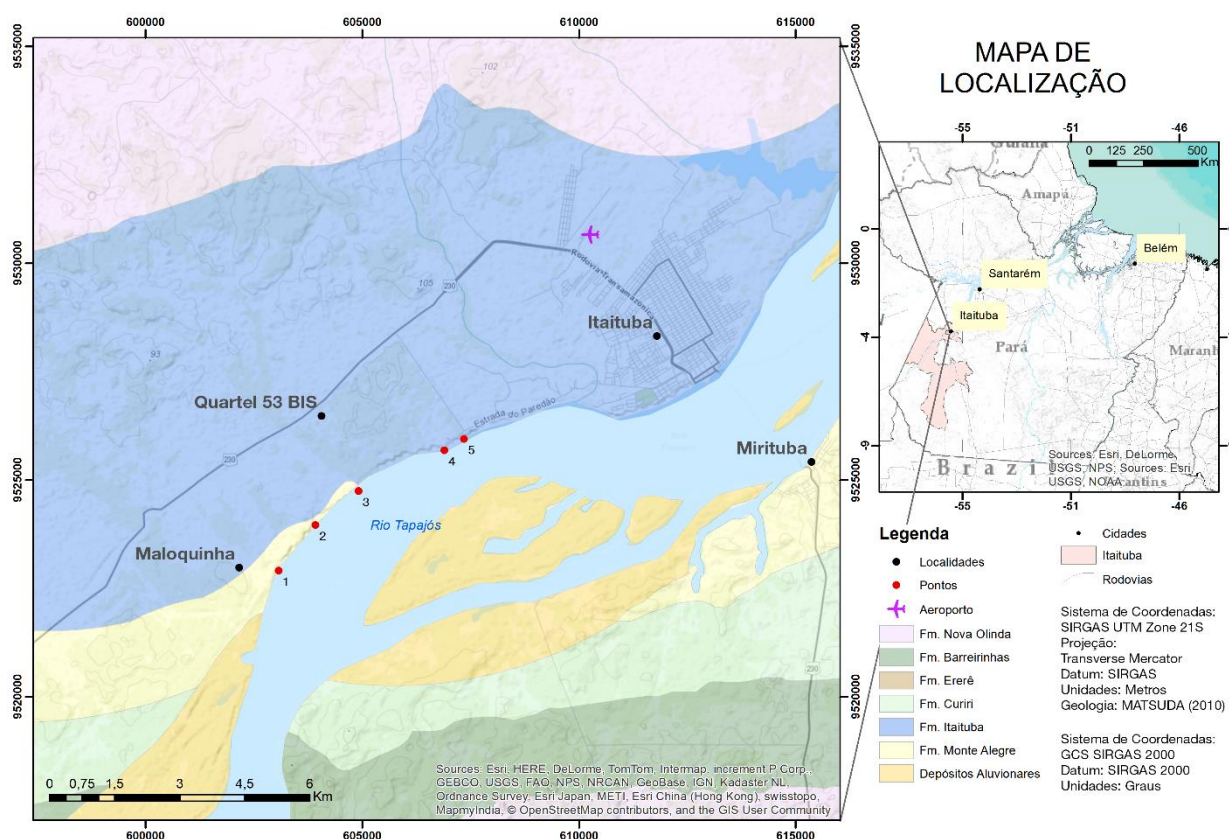
Apesar das unidades serem extensivamente estudadas em cunho estratigráfico e paleontológico, dados de proveniência são incipientes e necessitam de maiores estudos na região do Rio Tapajós. Minerais pesados são de grande importância para os estudos de proveniência, reconstrução paleoambiental e características da área fonte e também para correlacionar sucessões siliciclásticas, tanto para complementar a tradicional bioestratigrafia ou ser utilizada como alternativa quando o controle bioestratigráfico é fraco ou ausente (MORTON et al., 2012). Esta técnica é muito utilizada em arenitos reservatórios, pois a correlação de intervalos de produção é importante para construir um modelo de reservatório (DUNAY; HAILWOOD, 1995 apud MORTON et al., 2012).

A área de estudo se apresenta como uma excelente oportunidade de estudar rochas com características importantes para ocorrência de *plays* de petróleo. Dados obtidos de testemunhos de porosidade da Formação Monte Alegre a confere como possível reservatório (FERREIRA et al., 2015). Os evaporitos, carbonatos e folhelhos da Formação Itaituba são rochas selantes dos arenitos da Formação Monte Alegre e possui trapas majoritariamente estruturais (FERREIRA et al., 2015). Devido a essas características, um estudo minucioso sobre os minerais pesados na região se torna interessante. Com base nos dados quantitativos foram selecionadas assembleias de minerais pesados, as quais auxiliaram na individualização das formações e no posicionamento estratigráfico.

2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de trabalho está localizada na porção oeste do estado do Pará, no município de Itaituba, distante cerca de 350km a sudoeste da cidade de Santarém (Figura 1). Os afloramentos ocorrem na margem esquerda do Rio Tapajós e são acessados via transporte fluvial. Os afloramentos estão relativamente próximos e a distância máxima do primeiro ao último ponto é de 5 km. Os pontos visitados estão representados em coordenadas UTM da zona 21s: Ponto 1 (9522914, 603069), Ponto 2 (9523966, 603916), Ponto 3 (9524751, 604918), Ponto 4 (9525689, 606891) e Ponto 5 (9525953, 607345).

Figura 1- Mapa de localização da região estudada, com destaque para a geologia da região e posicionamento dos pontos de coleta



Fonte: Adaptado de Matsuda (2010)

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

O presente trabalho visa comparar a assembleia de minerais pesados na transição das Formações Monte Alegre e Itaituba ao longo de afloramentos no rio Tapajós na região de Itaituba (PA), assim como a assembleia mineral característica de cada unidade, bem como semelhanças e diferenças e determinar suas respectivas fontes.

3.2 Específico

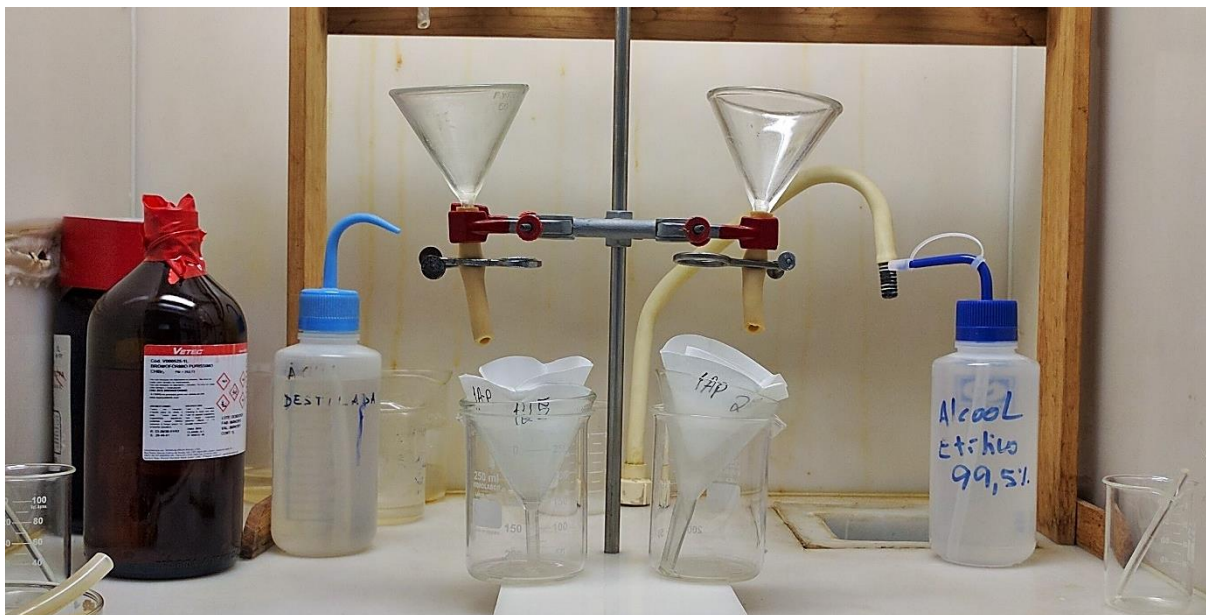
O objetivo específico será quantificar e caracterizar a presença de minerais pesados, elaboração de índices, perfis estratigráficos e também a descrição petrográfica de algumas amostras.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para fazer este trabalho envolveu estudos bibliográficos, coleta de amostras e dados em campo e procedimentos laboratoriais. Quanto aos estudos bibliográficos foram consultados artigos e livros sobre a geologia local, sobre minerais pesados e dissertações que abordavam o tema. A amostragem foi realizada de forma distribuída em fácies de arenitos ao longo das Formações Monte Alegre e Itaituba e localizadas na margem esquerda do Rio Tapajós, em etapa de campo realizada em novembro de 2014.

Os métodos laboratoriais para a concentração dos minerais pesados envolveram peneiramento em duas frações de tamanho (120 e 230 *mesh*), onde foram separadas duas frações, respectivamente areia fina e muito fina, que foram tratadas com Bromofórmio para a obtenção dos grãos pesados. Posteriormente foram tratados com HCL para eliminação de possíveis resíduos como carbonatos, óxidos/hidróxidos de ferro e assim, fazer as lâminas (Figura 2). Parte das amostras foram encaminhadas para a confecção de lâminas petrográfica na oficina de laminação da UFPA.

Figura 2- Equipamento de separação dos minerais pesados



Fonte: Do autor

A identificação das espécies minerais foi feita com base nas propriedades óticas descritas por Mange e Maurer (1992), em microscópio LEICA DM 2700P, as imagens foram feitas com a câmera LEICA EC 190 HD e estas foram organizadas segundo os princípios de HRMA (*High-Resolution Heavy Mineral Analysis*) proposto por Mange e Wright (2007) que consiste em categorizar e identificar diferentes variedades de um mesmo mineral em prancha, para serem feitas comparações.

Para a elaboração de índices entre os minerais pesados indicadores de área fonte, as amostras de fração areia fina (60 – 120 *mesh* ou G) foram eliminadas para minimizar o controle hidráulico sobre os grãos e com base nos trabalhos de Morton e Hallsworth (1994) e Morton et al. (2002, 2007) (Tabela 1).

Tabela 1- Determinação de índices indicadores de proveniência (GZi, RZi, ATi) e também de retrabalhamento sedimentar (ZTi)

Índice	Pares Minerais	Determinação do índice
GZi	Granada, Zircão	100x Cont. granada / (Total de granada mais zircão)
RZi	Rutilo, Zircão	100x Cont. rutilo / (Total de rutilo mais zircão)
ATi	Apatita, Turmalina	100x Cont. apatita / (Total de apatita mais turmalina)
ZTi	Zircão, Turmalina	100x Cont. zircão / (Total de zircão mais turmalina)

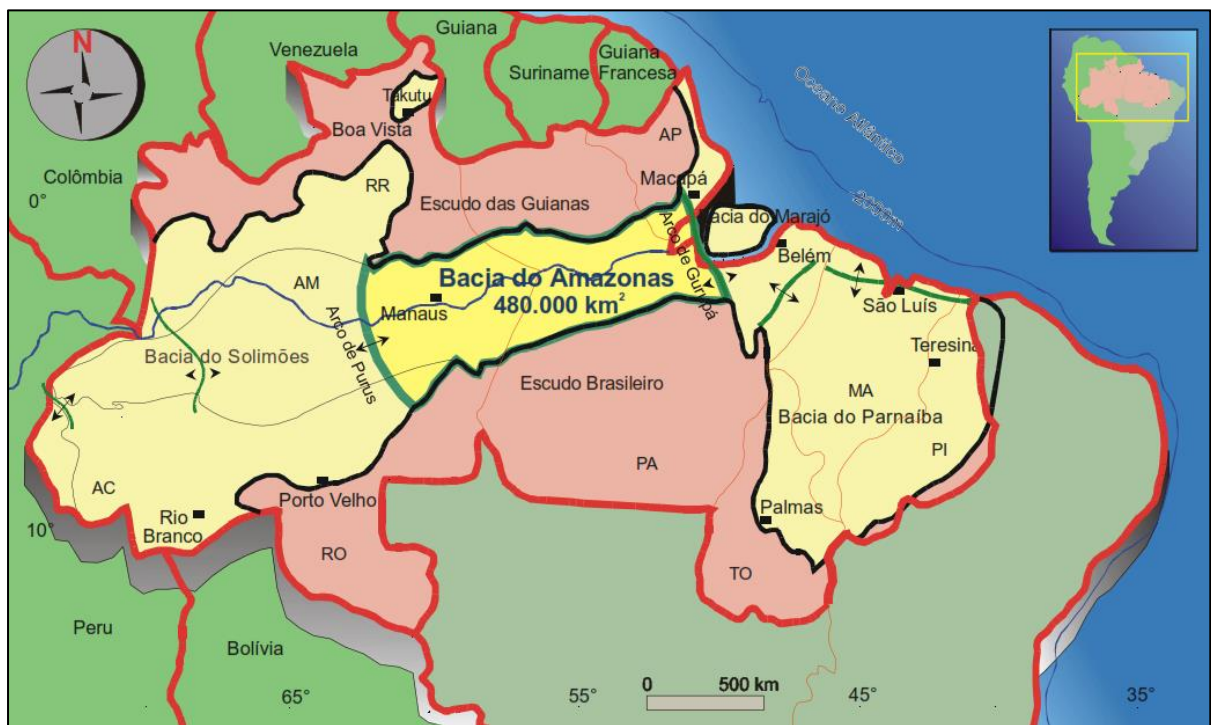
Fonte: Morton e Hallsworth (1994)

5 GEOLOGIA REGIONAL

5.1 Bacia do Amazonas

A Bacia do Amazonas está situada entre o Escudo das Guianas ao norte e o Escudo Brasil Central ao sul, tendo área aproximada de 620 000 Km² abrangendo os estados do Pará e Amazonas e separa-se a leste da Bacia do Marajó através do Arco de Gurupá e a oeste da Bacia do Solimões pelo Arco de Purus (Figura 3) (CUNHA et al., 2007). Esta bacia é preenchida principalmente por rochas paleozóicas e, em menor extensão, por rochas mesozóicas e cenozóicas, as quais atualmente totaliza uma espessura de cerca de 6.000 m (MATSUDA et al., 2010).

Figura 3- Mapa de localização e limites da Bacia do Amazonas



Fonte: Cunha (2000)

5.2 Embasamento

A Bacia do Amazonas está situado entre duas províncias contínuas, chamadas de Província Rio Branco e Província Tapajós, composta basicamente por um núcleo Arqueano, e outros domínios orogenéticos Paleoproterozóicos e Mesoproterozóicos. Segundo Santos et al. (2008) apud Pereira et al. (2012), a Bacia do Amazonas está sobre as províncias estruturais Transamazonas (2,26-2 Ga), Carajás (3-2,5 Ga), Amazônia Central (Arqueano?), Tapajós-Parima (2-1,8 Ga), K'mudku (1,45-1,1 Ga), Rondônia-Jurema (1,8-1,5 Ga) e Rio Negro (1,8-1,5 Ga). Rochas do embasamento afloram ao sul dos pontos estudados, consistindo de Ignimbritos (um grupo especial de rochas piroclásticas ácidas), pertencentes ao Grupo Utamã (MATSUDA et al., 2010). CPRM (2010) atribui o litotipo dacito e riolito a essa região de Formação Salustiano e de idade Paleoproterozóica. Lateralmente são encontrados batólitos de ambiente pós-colisional e de arco magmático.

Os primeiros registros sedimentares encontram-se localmente na bacia nas áreas contiguas ao Arco de Purus, constituindo as Formações Prosperança (arenitos aluviais e fluviais) e Acari (carbonatos de planície de maré), ambas reunidas no Grupo Purus e representando episódios anteriores à efetiva implantação da sinéclise. Estas formações são consideradas unidades secundárias na carta estratigráfica, com idades variando de Pré-cambriana a Cambriana, que constituem parte do embasamento da bacia (CUNHA et al., 2007).

5.3 Evolução Estrutural

Segundo Wanderley Filho et al. (2005), a história evolutiva do Pré-Cambriano, que constitui o substrato da região amazônica, está relacionada a dois eventos principais: o primeiro, que originou a organização dos terrenos granito-*greenstones* e dos cinturões de alto grau metamórfico; e o segundo responsável pela edificação de vários baixos deposicionais. As estruturas mestras estabelecidas foram responsáveis e controlaram fortemente a arquitetura geral da bacia durante o Paleozóico, da mesma forma com as estruturas geradas no Mesozóico e Cenozóico (WANDERLEY FILHO et al., 2005).

Segundo Neves (1989, apud PEREIRA et al., 2012) a origem, tanto da Bacia do Solimões, como da Bacia do Amazonas está relacionada à dispersão de esforços provenientes da evolução da Faixa de dobramento Araguaia-Tocantins, no final no Ciclo Brasileiro. A faixa de dobramentos, associada à Orogenia Brasileira-Pan-Africana, apresenta vergência tectônica e estruturas com direções de esforços compressivos E-W e uma direção de alívio (extensão) N-S, provavelmente responsável pelas estruturas extensionais adjacentes ao cinturão (CUNHA, 2002 apud PEREIRA et al., 2012). O rifte precursor das Bacias de Solimões e do Amazonas poderia ter-se iniciado segundo esse mecanismo, sendo a propagação de leste para oeste controlada por reativação de falhas e fraturas preexistentes (PEREIRA et al., 2012). Após esse evento distensivo, ocorreu o resfriamento das massas magmáticas, iniciando-se então, a subsidência térmica regional e o desenvolvimento de uma sinéclise intracontinental (Cunha et al., 2007).

5.4 Estratigrafia

A bacia do Amazonas é composta por duas megassequências de primeira ordem, a paleozóica e a mesosóico-cenozóica (CUNHA et al., 2007). A megassequência paleozóica é dividida em quatro sequências de segunda ordem: Ordovício-Devoniana, Devono-Tournaisiana, Neoviseana e Pensilvaniano-Permiana. O preenchimento sedimentar dessas sequências se deu em função das variações eustáticas do nível do mar e também da tectônica, marcada pelos eventos paleozoicos que ocorreram na borda oeste da antiga placa gondwânica (CUNHA et al., 2007).

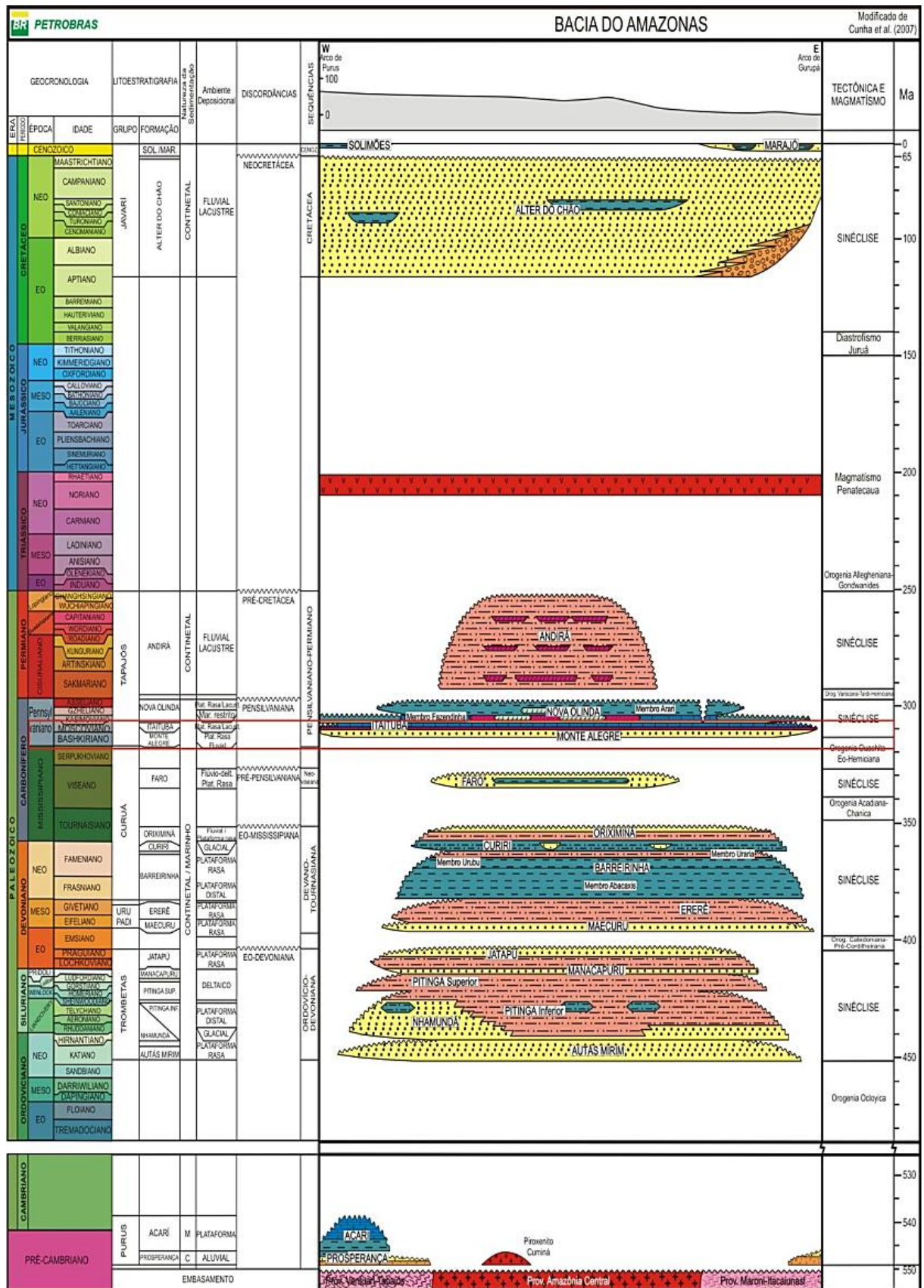
A sequência Ordovício-Devoniana corresponde ao estágio inicial de preenchimento da sinéclise, com deposição sentido leste para oeste (MATSUDA et al., 2010). Esta reúne os sedimentos clásticos marinhos e glaciais do Grupo Trombetas, cuja deposição ultrapassava o Arco de Gurupá, nesse momento inexistente. A oeste, o arco de Purus impedia a conexão com a Bacia do Solimões (CUNHA et al., 2007). A sequência Devono-Tournaisiana reúne os sedimentos marinhos sobrepostos por incursões glaciais dos grupos Urupadi e Curuá. Estende-se às bacias norte-africanas e ainda sem extensão à Bacia do Solimões (CUNHA et

al., 2007). Seu topo é marcado pela Orogenia Acadiana, que provocou soerguimento e erosão dessa sequência. A Sequência Neoviseana corresponde, isoladamente, aos arenitos e pelitos fluviodeltaicos e litorâneos com influência de tempestades da Formação Faro, seu topo é afetado pela Orogenia Eo-Herciniana, com extenso processo erosivo (CUNHA et. al., 2007).

A Sequência Pensilvaniano-Permiana é formada pelos clásticos, carbonatos e evaporitos continentais e de ambiente marinho restrito das Formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá, reunidas no Grupo Tapajós (CUNHA et al., 2007). A **Formação Monte Alegre**, de idade neobashkiriana, é marcada por arenitos eólicos e *wadis* intercalados com siltitos e folhelhos de interduna e lagos (CUNHA et al., 2007). Os depósitos químico-evaporíticos (Neocarbonífero/Permiano) foram formados após novo evento subsidente, acompanhado de uma significativa mudança climática: de frio para quente e árido atuou sobre a bacia. Neste período, a invasão marinha afogou campos de dunas eólicas das Bacias do Solimões e Amazonas, recobriu o Arco de Purus e finalmente promoveu a interligação das Bacias do Solimões e do Amazonas (MATSUDA, 2010). A **Formação Itaituba**, de idade neobashkiriana - moscoviana, representada por folhelhos, carbonatos e anidritas de fácies lagunar e marinho raso/inframaré (CUNHA et al., 2007). A Formação Nova Olinda vem em seguida, com calcários, anidrita e halitas de inframaré e planícies de sabkha do Moscoviano ao Gzheliano (CUNHA et al., 2007).

Cunha et al. (2007) também afirmam que houve um forte controle climático durante a sequência Pensilvaniano-Permiana e que a sedimentação continental observada no fechamento deste ciclo indica uma restrição bacinal provavelmente associada aos efeitos da orogenia tardi-herciniana (Orogênese Variscana). A carta estratigráfica para a Bacia do Amazonas (Figura 4) foi apresentada por Cunha et al. (2007).

Figura 4- Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas



6 REVISÃO DE CONCEITOS

6.1 Minerais pesados

Com exceção de depósitos *placers*, os minerais pesados representam menos de 1% da composição de rochas sedimentares e sedimentos encontrados na natureza. Estes minerais são definidos como aqueles com densidade superior a 2,9 g/cm³, estando divididos em dois grupos: opacos e não opacos. Cada grão numa assembleia de minerais pesados possui uma história e sua interpretação pode ser usada para diversas aplicações, Mange e Maurer (1992) destacam:

- Determinação de proveniência, com a reconstrução do ambiente e características da área fonte.
- Reconstrução de padrões de transporte dos sedimentos: úteis para complementar análises de paleocorrentes.
- Mapeamento de dispersão de sedimentos.
- Delimitação de províncias geológicas sedimentares.
- Elucidação de processos diagenéticos.
- Correlação de corpos de areia e unidades estratigráficas.
- Localização de depósitos econômicos em potencial.

6.1.1 Transporte

O zircão requer extrema abrasão durante o transporte para provocar arredondamento, sendo mais provável indício de longo transporte fluvial, litoral ou retrabalhamento eólico durante vários ciclos sedimentares. Sedimentos com zircões altamente arredondados sugerem material reciclado (MANGE; MAURER, 1992 apud ZOLEIKHAEI, 2016). O arredondamento de apatita é também importante para indicar a extensão do transporte do material, já que o arredondamento é progressivo em ciclos individuais. Não foram encontrados grãos de apatita nas amostras da Formação Monte Alegre, apesar que outros trabalhos indicam ocorrências pontuais (PINA, 2010).

Para Morton e Hallsworth (1994), as condições hidrodinâmicas durante a deposição podem afetar a abundância relativa dos minerais, devido à destruição de minerais mecanicamente instáveis. Descontinuidades e clivagens, inclusões e fraturas tornam os grãos mais susceptíveis a destruição durante o transporte, enquanto a densidade e o formato dos grãos determinam padrões hidrodinâmicos de distribuição e seleção no depósito.

6.1.2 Diagênese

O padrão de estabilidade durante a diagêneses segue a ordem de: olivina (menos estável) < piroxênio < anfibólio, andalusita, silimanita < epidoto < titanita < Cianita < estauroлита < allanita < granada < cloritóides < turmalina, monazita, espinélio < rutilo, anatásio, brookita, zircão, apatita (mais estável) (PETTIJOHN, 1975). A dissolução de minerais pode ser reconhecida por textura de corrosão na superfície dos grãos e pela preservação de minerais instáveis em zonas de baixa porosidade adjacentes a arenitos friáveis com menor diversidade mineralógica (MORTON; HALLSWORTH, 2007).

Não há evidências para que rutilo, turmalina e zircão sofram dissolução com diagênese profunda e são capazes de sobreviver a diversos processos, entretanto a turmalina pode sofrer dissolução na presença de fluidos com H₂S (MORTON; HALLSWORTH, 2007) e em casos de extremo intemperismo com o aparecimento de uma superfície irregular e serrilhada (VAN LOON; MANGE, 2007). Anatásio e brookita são componentes pouco comuns numa assembleia de minerais pesados, mas ainda são bastante estáveis e são comumente fases autigênicas na amostragem (MORTON; HALLSWORTH, 2007). Os dados geoquímicos da Granada são importantíssimos para identificação de proveniência e é um mineral bastante estável em diagênese profunda, entretanto existe uma relação para as granadas na quantidade de cálcio presente, sendo as ricas em Ca menos estáveis que as pobres em Ca (MORTON; HALLSWORTH, 2007). Apatita é um mineral bastante resistente durante o processo de diagêneses, mas em condições de intemperismo de superfície são bastante instáveis (MORTON; HALLSWORTH, 2007).

6.1.3 Intemperismo

Van Loon e Mange (2007) afirmam que arenitos extremamente intemperizados apresentam pouca proporção de minerais pesados, resultados da dissolução de minerais menos estáveis, diferenciando a composição atual, da composição original de minerais pesados. Com os minerais remanescentes estima-se o grau de intemperismo ocorrido. Estaulolita, quando presente aparenta ser um bom indicador de intensidade de intemperismo e dá uma ideia de que minerais podiam estar presentes originalmente. Estaulolita bastante alterada indica que outros minerais foram removidos devido a processos intempéricos; já esse mineral associado com andalusita e cianita indicam rochas metamorfasadas regionalmente (VAN LOON; MANGE, 2007). Van Loon e Mange (2007) ainda apontam que amostras com espécimes estáveis-ultra estáveis com uma baixa diversidade de minerais pesados não pode ser rotineiramente descrita como causados exclusivamente por processos diagenéticos profundos, pois uma baixa diversidade em sedimentos superficiais indicaria alteração *in situ* ou intemperismo na rocha fonte.

A localização de onde ocorreu o intemperismo pode ser reconstruída pela morfologia dos grãos, já que grãos frágeis não conseguem sobreviver a longos transportes. Sua presença indica que o intemperismo ocorreu *in situ*, já a ausência de sinais de corrosão, indica que ela provavelmente ocorreu na rocha fonte. Essa distinção é importante para a correlação de unidades reservatórios e determinações de proveniência (VAN LOON; MANGE, 2007).

O formato dos grãos (especialmente para zircão, turmalina e rutilo) influencia a susceptibilidade de intemperismo pós-deposicional, a presença simultânea de grãos altamente corroídos e outros aparentemente inalterados não podem determinar um grau de intemperismo exato e não necessariamente indicam duas ou mais áreas fontes para a amostra, tornando o intemperismo químico mais um parâmetro estatístico que um parâmetro fixo (VAN LOON; MANGE, 2007).

6.2 Índices de minerais pesados

O cálculo dos índices de minerais pesados, é baseado em minerais que durante o transporte possuem características semelhantes (principalmente em relação a densidade e hábito) ou bastante diferentes, afim de que a mudança nesses índices retrate mudanças no fornecimento sedimentar (MORTON; HALLSWORTH, 1994). Na Tabela 1 é possível observar como foram feitos os índices. Nota-se que no índice ZTi existem dois minerais com densidades bem diferentes (zircão e turmalina), O contraste de densidade entre zircão (4,6 a 4,7 g/cm³) e turmalina (2,9 a 3,1 g/cm³) torna os grãos de turmalina mais susceptíveis ao transporte em relação aos grãos de zircão, o que tornaria a unidade fonte relativamente rica em zircão. Seguindo este raciocínio, este índice seria indicador do grau de retrabalhamento sedimentar, sendo que sedimentos mais retrabalhados apresentariam valores maiores de ZTi, devido à concentração residual de zircão na fonte (NÓBREGA et al., 2008).

Para Nóbrega et al. (2008), o índice RuZi, por exemplo, seria indicativo de mudanças de área-fonte primária, já que reúne minerais com características químicas e físicas semelhantes, portanto, pouco susceptível a modificações pelo transporte sedimentar e alteração pós-deposicional. O par mineral GZi segue o mesmo raciocínio, a mudança na sua proporção indica mudança relativa a área fonte (REMUS et al., 2008).

Estes índices são importantes pois determinam a abundancia relativa de minerais com comportamentos hidráulicos e diagenéticos similares, sendo importante utilizar frações de tamanho iguais (63 – 125 µm) para fins comparativos. Porém existem algumas ressalvas: O valor de GZi pode ser reduzido devido a dissolução (a presença de alterações nas granadas e a presença ou não de outros minerais instáveis podem indicar se ocorreu alterações) (MORTON et al., 2002).

O índice ZTR proposto por Hubert (1962) não foi calculado, pois as variações do mesmo podem resultar do efeito combinado da alteração pós-deposicional e do transporte sedimentar. Isto dificulta sua interpretação em termos de proveniência sedimentar e sua utilização para correlação entre unidades estratigráficas (NÓBREGA et al., 2008).

7 RESULTADOS

7.1 Descrição dos afloramentos

Com base no trabalho de Lima (2010) e em Matsuda (2010), os afloramentos foram descritos em campo. Para a Formação Monte Alegre na região de Itaituba, foram definidas três fácies: Arenito com estratificação cruzada de médio porte (Amp), Arenito de estratificação plana de baixo ângulo (Aba) e arenito com estratificação plano-paralela (App), já para a Formação Itaituba foram descritos nove fácies: Dolomito maciço (Dm), dolomito maciço fóssilífero (Df), dolomito maciço com gretas de contração (Dc), Dolomito com laminação plano-paralela (Dp), Dolomito maciço com terrígenos (Dt), Calcário maciço, com gretas de contração (Cm), Calcário fóssilíferos (Cf), Pelito maciço (Pm), Arenito com estratificação cruzada sigmoidal (As), Arenito com estratificação cruzada acanalada (Aa), Arenito com laminação cruzada cavalgante supercrítica (Ac) e arenito maciço (Am). Os detalhes de algumas fácies estão representados na Figura 5.

Foram definidas seis associações de fácies para os afloramentos visitados. A primeira associação (i) é definida como subambiente de campo de dunas costeiras e interdunas, formada pela fácies Amp, Aba e App. Em seguida, a associação (ii) composta pelas fácies Dm, Dc, Cm e Am que correspondem ao subambiente de planície de maré. A terceira associação (iii) composta pelas fácies Aa e Ac correspondem ao canal de maré. A associação (iv) é formada pelas fácies Pm, Ac, As, Aa e Am, compondo um subambiente de delta de maré. Por fim, a associação (v) é composta por Dp, Pm, Df, Cf, Dm, formando um subambiente de laguna.

Na Figura 6 é observado o perfil dos afloramentos visitados, com dados de fácies, as associações de fácies, formações, posicionamento das amostras coletadas e também medidas de paleocorrentes. O apêndice B poderá ser consultado para observar a distribuição de minerais pesados em perfil.

Figura 5- Detalhes dos afloramentos estudados. A, B: Afloramentos da Formação Monte Alegre, fácies Amp. C: Fácies App e Aba, compondo o subambiente de interdunas/lençol de areia. Seta indica alternância marcada de granulometria. D: Traço fóssil de *Lockeia* em arenito da Formação Monte Alegre. E: Seção da Formação Itaituba com alternância de delta de maré e laguna. F: Arenito com laminação cruzada cavalgante supercrítica. G: Fóssil de *gastrópode* substituído por carbonato cristalino, na Formação Itaituba.

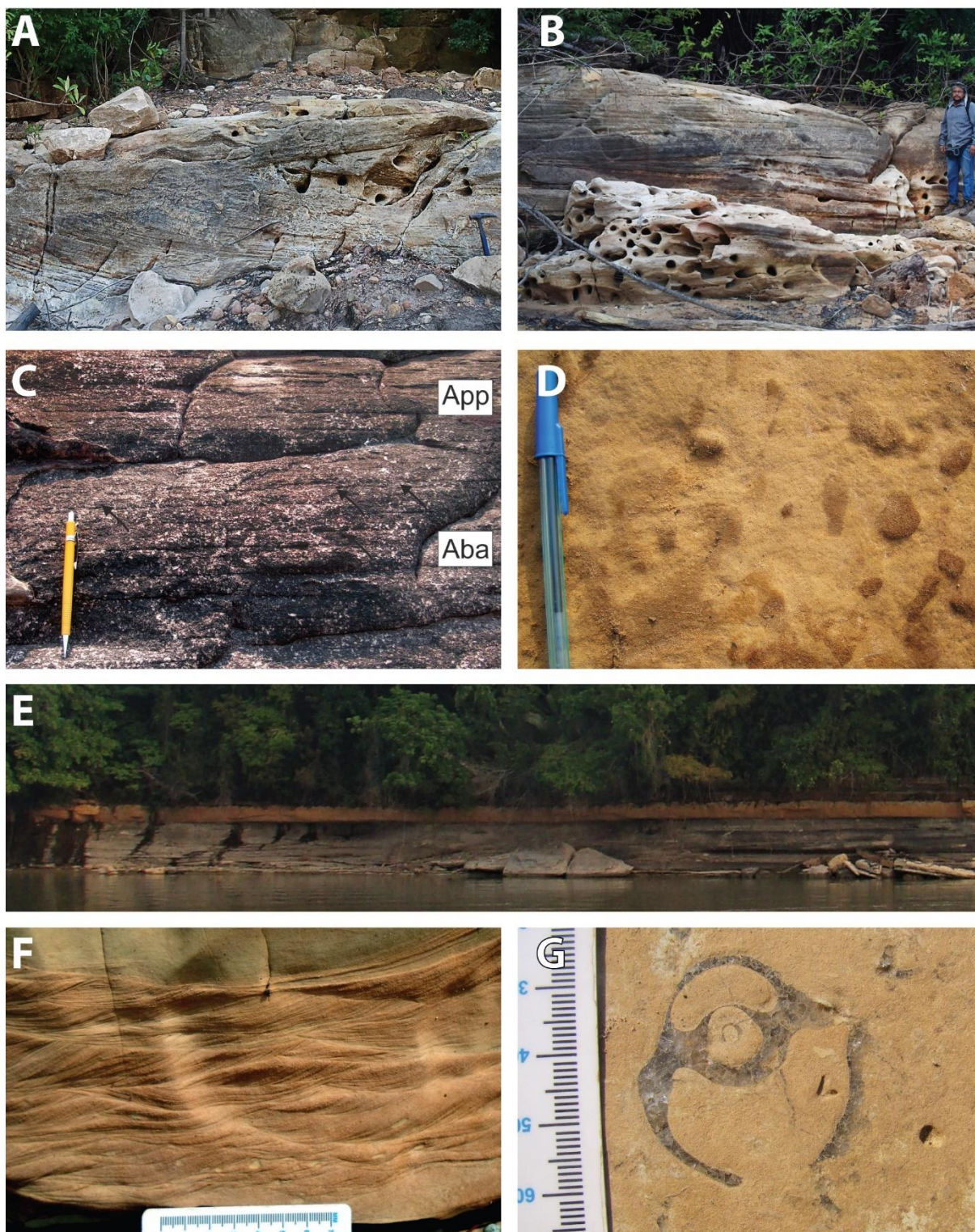
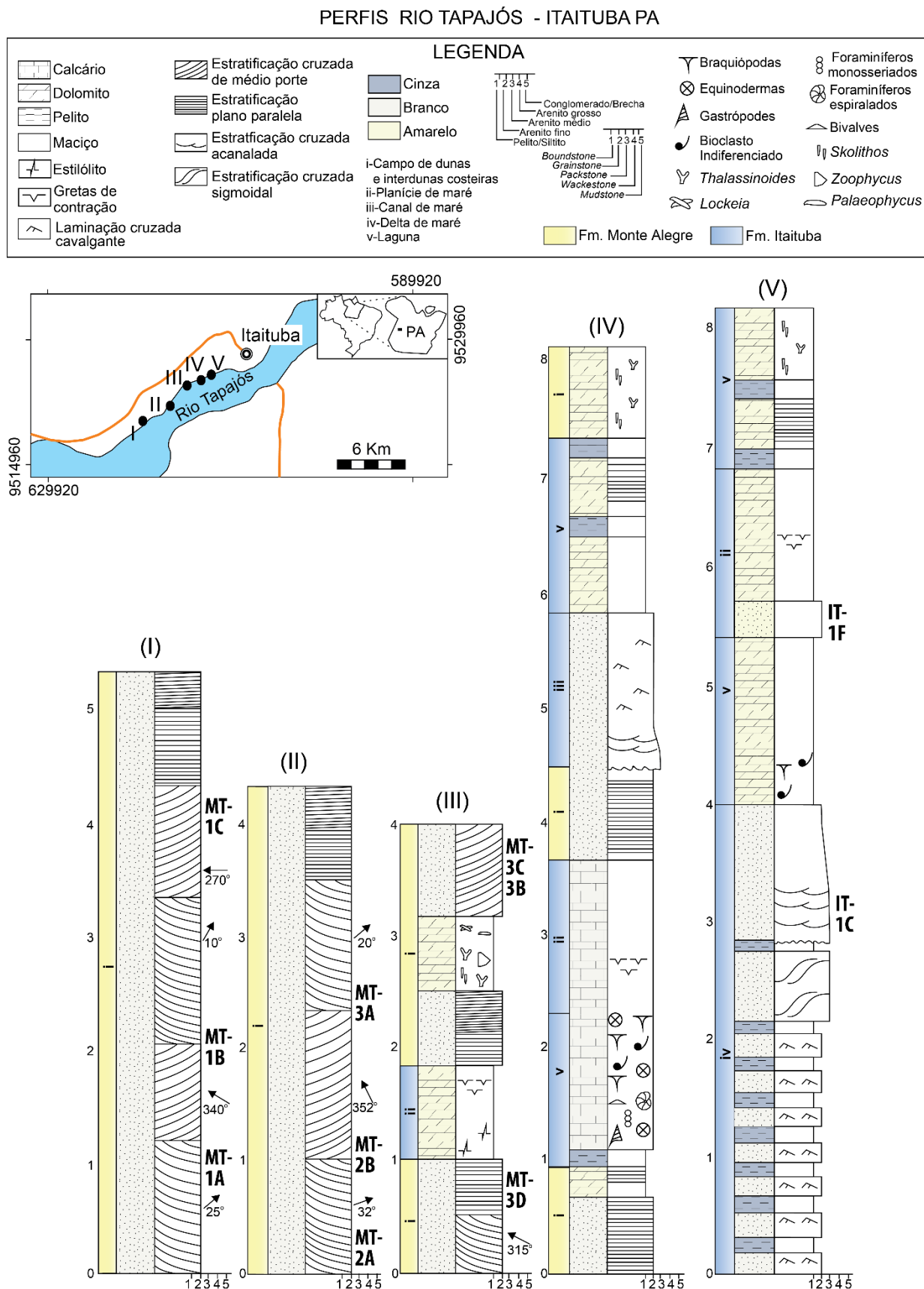


Figura 6- Perfis estratigráficos das unidades estudadas, com posicionamento das amostras descritas.



7.2 Descrição petrográfica

Neste trabalho as análises petrográficas concentraram-se em arenitos e carbonatos da região de Itaituba pertencentes a três associações de fácies, sendo duas características da Formação Monte Alegre (campos de dunas costeiras e interdunas) e uma da Formação Itaituba (laguna/delta de maré), seguindo a proposta de Lima (2010). Ao todo foram analisadas 12 lâminas delgada, sendo 6 lâminas descritas de arenitos da Formação Monte Alegre que compreendem 5 quartzo-arenitos e 1 subarcósio segundo a classificação de Folk (1968) (Figura 7), além de 6 amostras da Formação Itaituba, composta por 3 dolomitos com terrígenos, 1 *grainstone* e 1 subarcósio, segundo as classificações de Tucker (1992), Dunham (1968) e Folk (1974) respectivamente (Figura 8).

7.2.1 Descrição de lâminas da Formação Monte Alegre

Os arenitos da Formação Monte Alegre são classificados, segundo Folk (1974), como quartzo-arenitos e subarcósios de granulometria fina à média, com quartzo variando de 90% a 96%. Os grãos de quartzo são predominantemente monocristalinos e apresentam sobrecrecimento sintaxiais. Ocorrem ainda grãos de plagioclásio e microclina (1% a 3%), sílex e siltito (1% a 2%), bem como cutículas de argilo-minerais.

Em geral, os arenitos apresentam granulometria que varia de silte grosso (0,05mm) a areia média (0,3mm), com predomínio de areia muito fina (0,100mm), e são bem selecionados (Figura 7). Entre os contatos grão a grão, prevalece o padrão de contato côncavo-convexo e reto, observado somente em duas amostras que apresentam um elevado grau de cimentação. Nos arenitos da Formação Monte Alegre o quartzo é o mineral predominante, enquanto fragmentos plagioclásio e líticos são constituintes secundários. Ocorrem ainda micas e minerais pesados com teor menor que 1%. Os grãos de quartzo são na maioria monocristalinos (média de 93,3%), com extinção uniforme ou reta (33,5%), extinção ondulante fraca (52,9%) e extinção ondulante forte (13,6%). Os grãos policristalinos ocorrem subordinados com média de 3,1% do teor modal. Os grãos são em geral subangulosos a subarredondados e com

esferecidade baixa a moderada. Como modificadores do grau de arredondamento deste mineral, observa-se a ocorrência de sobrecrecimento de sílica. Embora menos comum, verifica-se a existência de quartzo, em apenas uma lâmina, com a presença de grãos fraturados (Figura 7: C).

Os fragmentos de rocha não apresentam valores superiores a 2% no volume das rochas descritas. Prevalecem os fragmentos de pelito e sílex. Alguns grãos estão parcialmente alterados ou substituídos, o que dificulta a classificação do tipo de fragmento. Comumente os fragmentos exibem formas bem preservadas, entretanto são descritos grãos contorcidos no arcabouço, sendo caracterizados como pseudomatriz.

A composição média dos feldspatos é de 0,92% do volume total nos arenitos. Observa-se a presença de feldspato potássico (microclina) e de plagioclásio com geminação múltipla paralela, parcialmente alterado.

A argila mecanicamente infiltrada é reconhecida pela ocorrência de argilominerais em forma de “*coatings*” ou cutículas dispostas de forma tangencial à superfície dos grãos, exibindo birrefringência elevada e cor amarelada (Figura 7: F). A presença de argila em forma de cutículas é explicada pela infiltração de água episódica das enxurradas que produz grande quantidade de sedimentos em suspensão que depois decanta sobre os grãos em forma de lamelas.

7.2.2 Descrição de lâminas da Formação Itaituba

Foram descritas 6 lâminas para a Formação Itaituba composta por 3 dolomitos com terrígenos, 1 *grainstone* com bioclastos e 1 subarcósio.

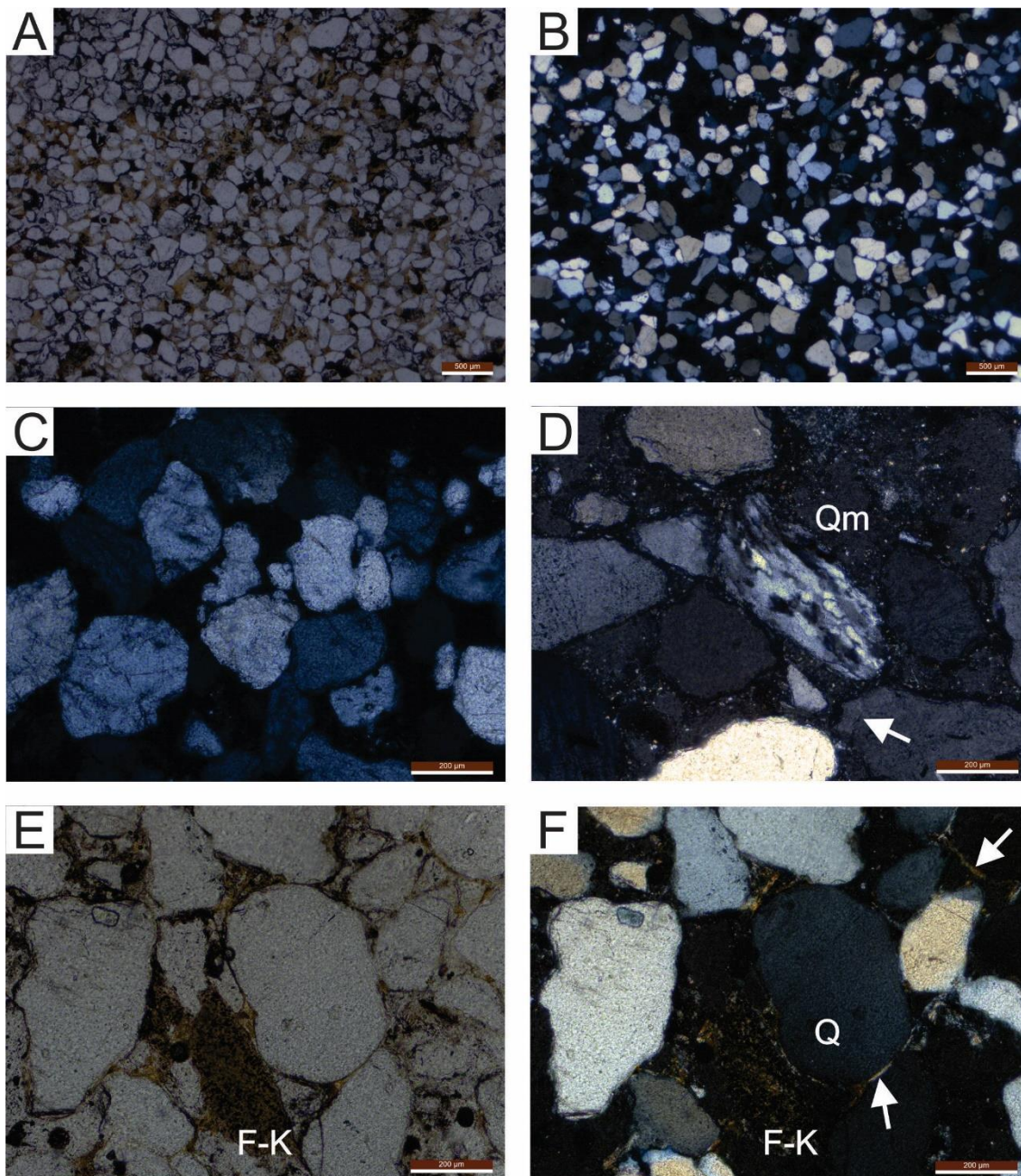
O dolomito fino apresenta textura xenotópica com cristais de até 15 µm de diâmetro (Figura 8). A dolomita perfaz de 55 a 75% da lâmina (Figura 8: A, B e C) com grãos siliciclasticos disseminados, compostos por grãos de quartzo (mono e policristalino) e microclima.

A amostra de *grainstone* com bioclastos foi descrita contendo fragmentos fósseis cimentados por calcita espática. Os constituintes fósseis são representados

por fragmentos de braquiópodes, foraminíferos e bioclastos indiferenciáveis (Figura 8: D). Segundo Lima (2010), esta microfície pode ser interpretada como sendo formada pela migração de barras bioclásticas em águas rasas e agitadas sem sedimentação de lama carbonática como matriz.

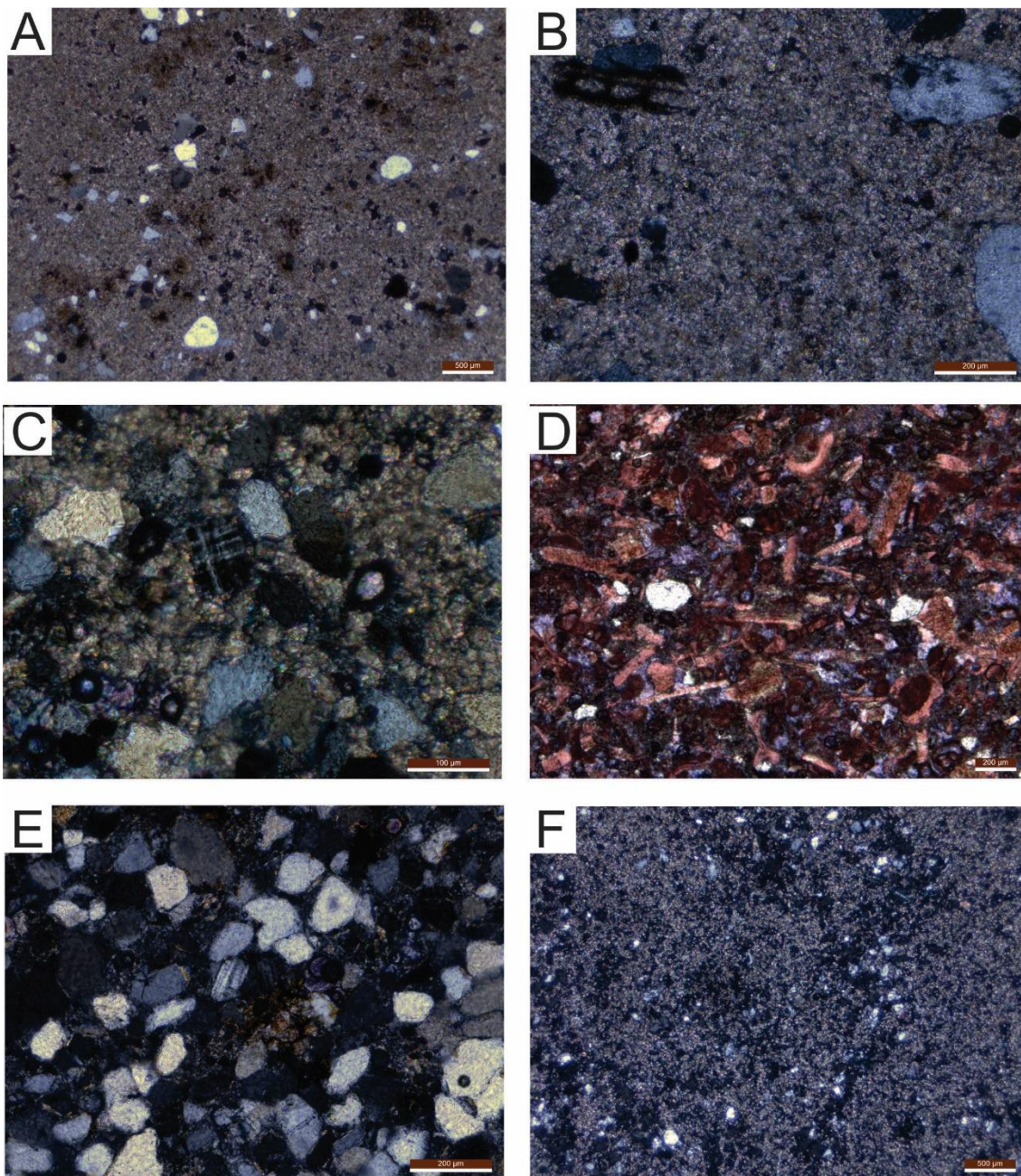
Um intervalo de rocha da Fm. Itaituba apresenta ausência de dolomita e/ou calcita, sendo classificada como subarcósio. O arenito apresenta granulometria que varia de areia muito fina a fina, com predomínio de areia muito fina (0,100mm), bem selecionados e com aparente laminação plana (Figura 8: E). São descritos contatos com padrão côncavo-convexo e reto. Nos arenitos da Formação Itaituba o quartzo é o mineral predominante, enquanto fragmentos Feldspato-K e líticos são constituintes secundários. Ocorrem ainda micas e minerais pesados com teor menor que 0,5%. Os grãos de quartzo são na maioria monocristalinos (média de 95,3%), com extinção uniforme ou reta (39,8%), extinção ondulante fraca (19%) e extinção ondulante forte (10,2%). Os grãos policristalinos ocorrem subordinados com média de 4% do teor modal. Os grãos são em geral subangulosos a subarredondados e com esferecidade baixa a moderada.

Figura 7- Arenitos da Formação Monte Alegre, região de Itaituba-PA. A e B: aspectos gerais da lâmina de quartzo-arenito. C: grãos de quartzo fraturado. D: Grão de quartzo policristalino de rocha metamórfica (Qm) e sobrecrecimento de sílica (seta branca). E: Grão de F-K alterado (F-K). F: Quartzo monocristalino (Q) e coating de argilominerais (seta branca). Fotos A e E com nícois paralelos. Fotos B, C, D e F com nícois cruzados.



Fonte: Do autor

Figura 8- Fotos petrográficas de lâminas de amostras da Formação Itaituba, região de Itaituba-PA. A: Aspecto geral da amostra de dolomito. B: Dolomita fina com fragmentos de grãos siliciclásticos e um bioclasto indiferenciado. C: Textura xenotópica dos cristais de dolomita e grãos terrígenos de quartzo e microclina. D: aspecto geral do dolomito com bioclastos. E: aspecto geral do subarcósio da Fm. Itaituba. F: Aspecto geral da amostra de dolomito.



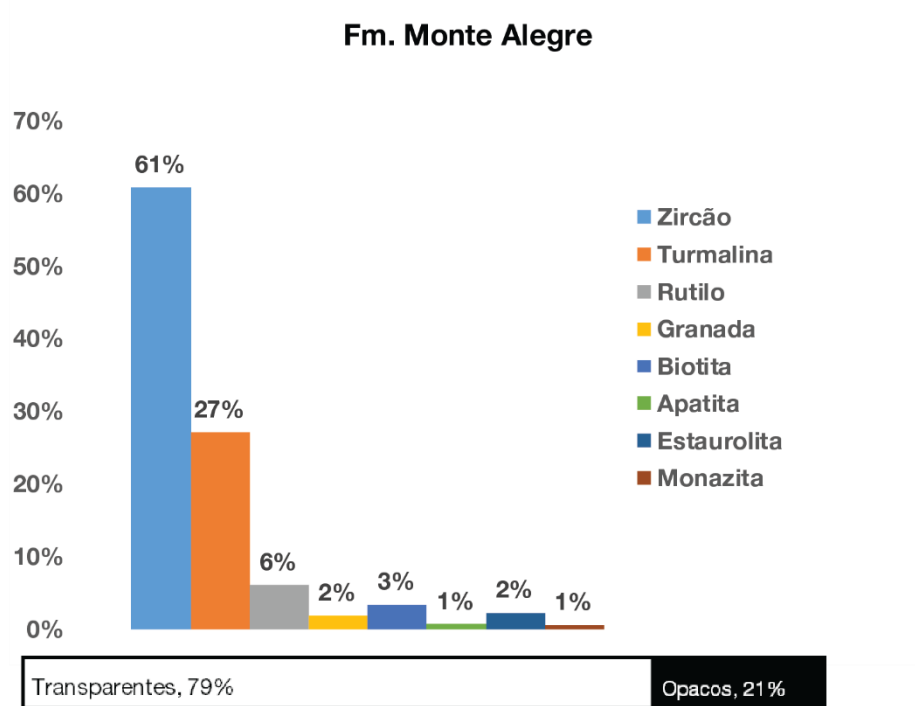
Fonte: Do autor

7.3 Dados gerais

7.3.1 Formação Monte Alegre

Para as amostras desta formação foram analisadas nove amostras, sendo estas representadas por dezoito lâminas, sendo doze delas apresentando dados satisfatórios. Uma média sobre a quantidade total de grãos exibe predominância de zircão, seguido de turmalina, rutilo e granada como componentes principais. Em menores quantidades são observados biotita, estaurolita, monazita e apatita, respectivamente. A porcentagem de minerais opacos total é de 27% (Figura 9).

Figura 9- Dados gerais sobre a quantidade total de grãos contados da Formação Monte Alegre.

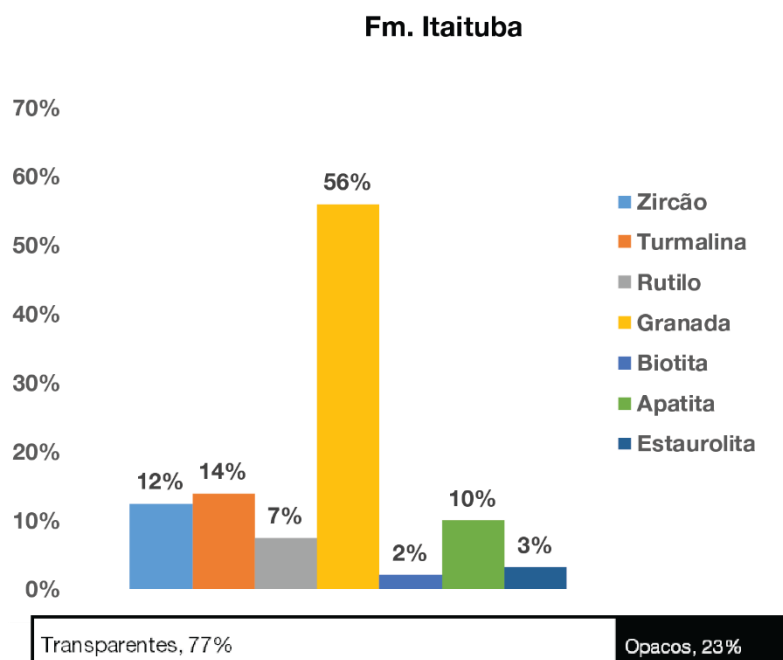


Fonte: Do autor

7.3.2 Formação Itaituba

Para as amostras desta formação foram analisadas três amostras, sendo estas representadas por seis lâminas, sendo apenas duas delas apresentando dados satisfatórios. O mineral granada apresenta grande predominância no total, seguido de turmalina, apatita, rutilo, zircão, estauroлита e biotita. A porcentagem de minerais opacos total é de 34% (Figura 10).

Figura 10- Dados gerais sobre a quantidade total de grãos contados da Formação Itaituba. O: Opacos. T: Transparentes.



Fonte: Do autor

7.4 Análise convencional

Um total de 22 amostras analisadas, mas por não haver concentração de minerais pesados significativa em todas elas, apenas 14 tiveram valores satisfatórios de minerais pesados concentrados e destas, 11 foram utilizadas para elaboração de índices. Os dados das contagens e foram convertidos em porcentagem e estão

exibidos na Tabela 3. Para o cálculo de frequência dos minerais pesados uma média aritmética com as amostras obtidas foi feita para cada Formação. Para os dados brutos, o apêndice A poderá ser consultado. A Tabela 2 posteriormente é utilizada para indicar a frequência de um certo mineral na formação geológica como um todo.

Tabela 2- Índice de frequência dos minerais pesados

Índice de frequência	
Muito frequente	> 50%
Frequente	15 - 50%
Presente	5 - 15%
Raro	1 - 5%
Muito raro	< 1%

Fonte: Faria Jr. (1979)

Tabela 3- Dados em porcentagem das contagens de grãos. Os valores de porcentagem para os minerais transparentes excluem os opacos e o valor total de opacos é sobre o total de transparentes. Mt= Formação Monte Alegre, IT= Formação Itaituba.

MT	Fração	Opacos	Zircão	Turmalina	Rutilo	Granada	Biotita	Monazita	Estaurolita
1A	G	18	84	15	1				
	F	79	42	38	4		15		
1B	G	25	28	59			14		
	F	19	80	5	10		4		
1C	F	15	56	34	4		2	0,4	4
2A	F	24	34	49	7		5		6
2B	F	15	77	15	3		5		1
3A	F	18	59	26	6	1	3		3
3B	F	13	14	13	4	60	3		6
3C	F	12	21	15	10	48	1		4
3D	G	45	27	59		5	9		
	F	37	56	31	6	3	1	1	3
IT	Fração	Opacos	Zircão	Turmalina	Rutilo	Granada	Biotita	Apatita	Estaurolita
1C	F	40	9	17	9	48	2	13	2
1F	F	28	6	10	6	68	2	7	1

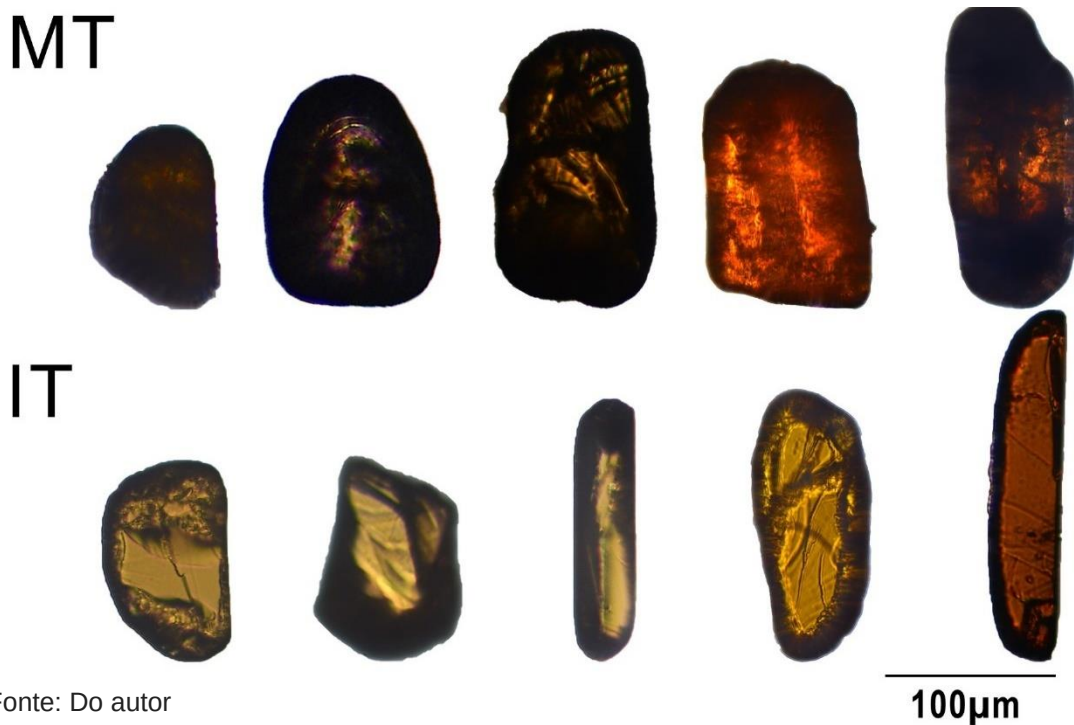
Fonte: Do autor

7.5 Análise varietal

7.5.1 Rutilo

O rutilo nas amostras analisadas, ocorre frequente em ambas as formações (Tabela 2). São descritos grãos vermelhos e amarelados e também quase opacos, com baixa esfericidade para a Formação Itaituba e esfericidade moderada a alta para a Formação Monte Alegre. Vários grãos de amostras da Formação Itaituba apresentam-se fragmentos alongados e de hábito prismático (Figura 11).

Figura 11- Aspectos gerais dos rutilos descritos. MT: Grãos de amostras da Formação Monte Alegre
IT: Grãos de amostras da Formação Itaituba



Fonte: Do autor

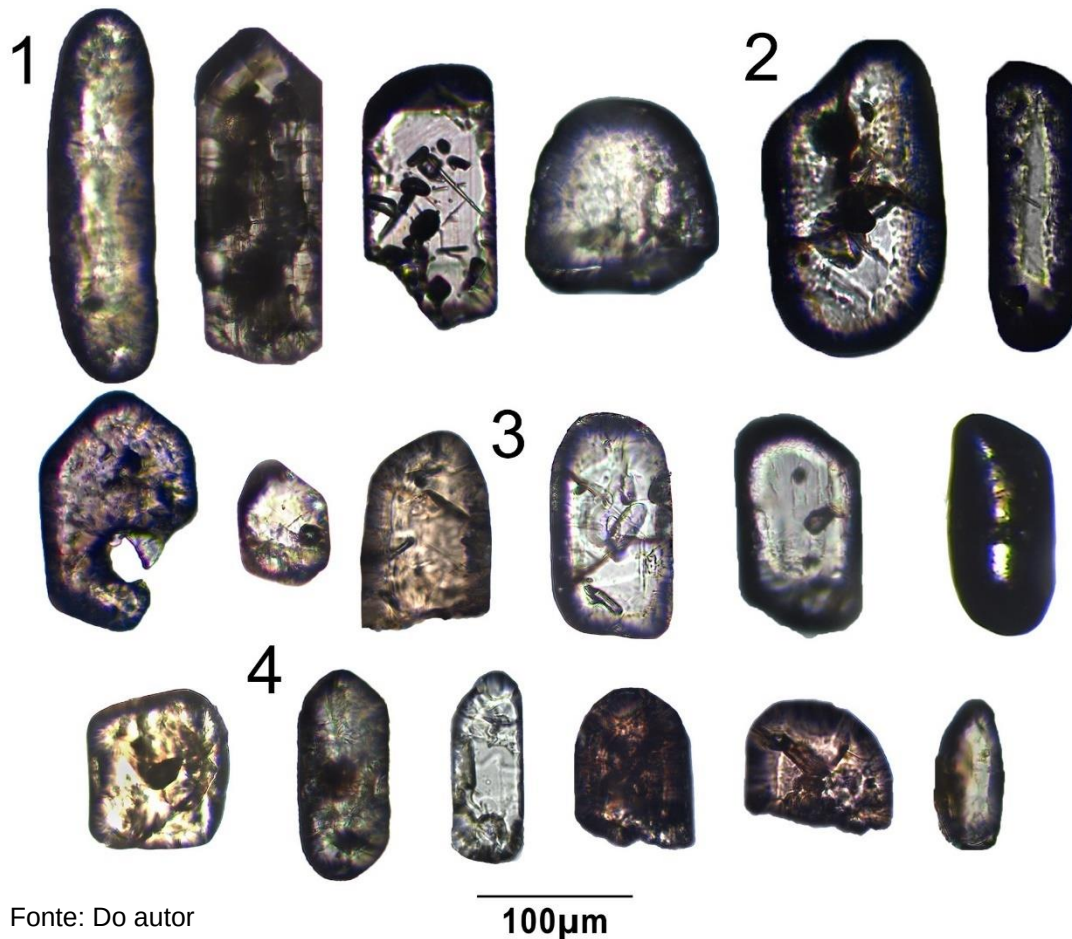
7.5.2 Zircão

O Zircão é um mineral muito frequente na Formação Monte Alegre e presente na Formação Itaituba (Tabela 2). Os formatos de grão encontrado variam de muito arredondado com alta esfericidade a subarredondado de baixa esfericidade. As formas encontradas são de prismas curtos ou longos predominantemente anédricos, raramente são encontrados grãos angulares com hábito subédrico, assim como grãos

com terminação piramidal, sendo estes com a maior ocorrência nas amostras da Formação Monte Alegre (Figura 12: 1, 2). As cores variam de incolor a rosa claro e escuro, o zoneamento é de difícil observação ou está ausente. Inclusões nos grãos também são observadas, como opacos, bolhas e rutilo. Zircão metamítico

Mange e Maurer (1992) afirmam que zircões com o índice de alongamento (razão comprimento/largura) maior que 3, como observado na Figura 12: 1, 2, indicam origem especificamente piroclástica para a área fonte. Valores menores que 3 estão relacionados com rochas ígneas em geral.

Figura 12- Aspectos gerais dos zircões. 1: Exemplares das amostras MT-1A, B, C. 2: Amostras MT-2A, B. 3: Amostras MT-3A, B, C, D. 4: Amostras IT-1C, F.



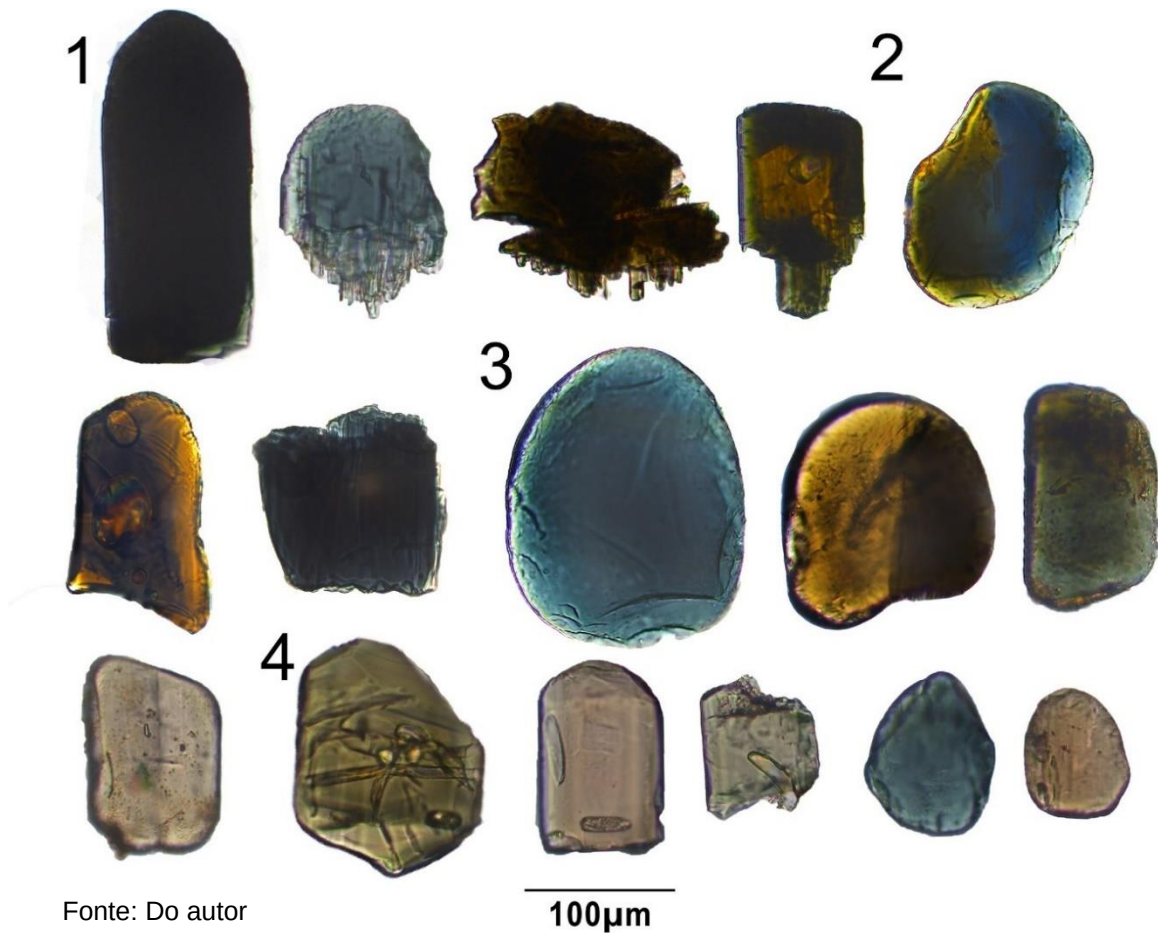
Fonte: Do autor

100µm

7.5.3 Turmalina

A turmalina é frequente na Formação Monte Alegre e presente na Formação Itaituba (Tabela 2). Morfologicamente os grãos apresentam-se como prismas curtos com bordas arredondadas e em alguns casos fraturados, sessões basais arredondadas e elipsoides alongados. A cor ocorre bem diversificada, desde bem escuras, azul escuro, marrom, amarelo, verde, algumas com pleocroísmo de rosa ao opaco, amarelo pálido ao marrom e incolor ao azul. Inclusões não são muito comuns, mas geralmente ocorrem como bolhas, agulhas de rutilo e apatita. Localmente em algumas amostras da Formação Monte Alegre os grãos de turmalina estão bastante corroídos/intemperizados (Figura 13: 1).

Figura 13- Aspectos gerais das Turmalinas. 1: Exemplares das amostras MT-1A, B, C. 2: Amostras MT-2A, B. 3: Amostras MT-3A, B, C, D. 4: Amostras IT-1C, F.

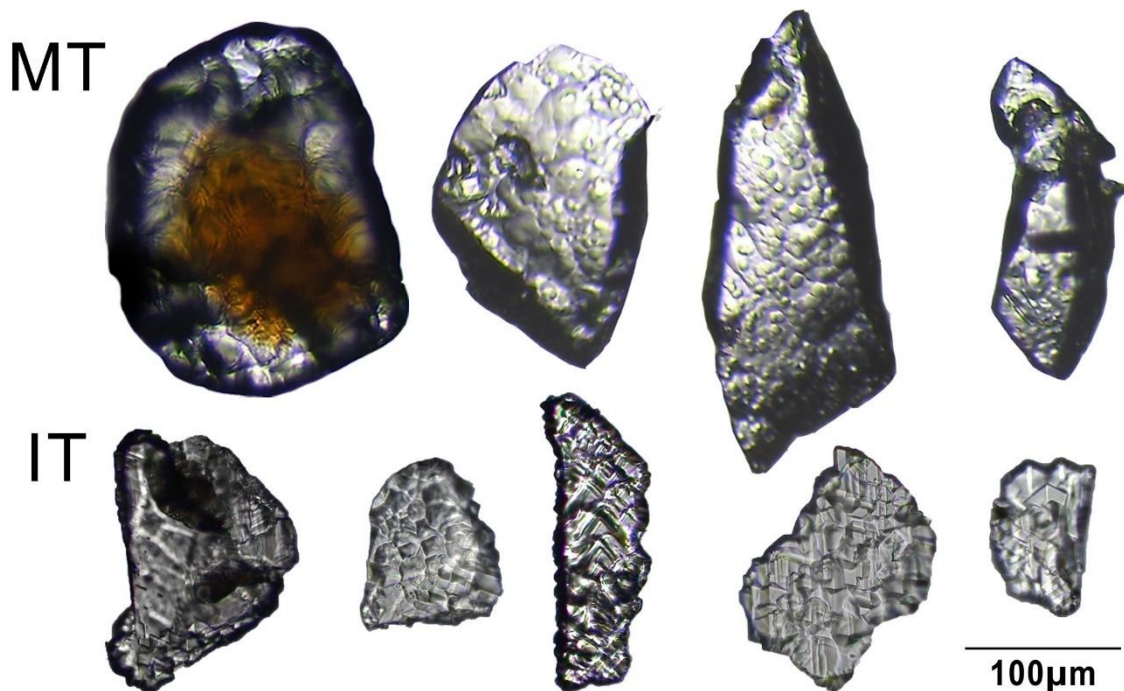


Fonte: Do autor

7.5.4 Granada

Granada é muito frequente na Formação Itaituba e na Formação Monte Alegre é encontrado apenas em amostras próximas do contato (Tabela 2). As formas encontradas são fragmentos angulares e irregulares e de grãos subarredondados a arredondados, geralmente de baixa esfericidade, mas também com a ocorrência de grãos bem esféricos. As cores encontradas são brancas, rosa pálido e raramente vermelho pálido. Fraturas conchoidais são observadas, assim como frequentes estruturas de dissolução, como Formação de depressões, bordas angulares e corroídas e estruturas mamelar. Comparando as granadas de das duas formações, não foi possível encontrar alguma diferença no que se refere a forma do grão, apenas é encontrada alteração no tamanho (Figura 14).

Figura 14- Aspectos gerais das granadas. MT: Grãos de amostras da Formação Monte Alegre IT: Grãos de amostras da Formação Itaituba



Fonte: Do autor

7.5.5 Apatita

Mineral muito raro na Formação Monte Alegre e “presente” na Formação Itaituba, de formato arredondado a bem arredondado, geralmente em formato prisma curto ou seção basal. De cor cinza-esverdeado ao incolor. Inclusões de fluidos e densas agulhas opacas perpendiculares ao eixo c são observadas (Figura 15).

Figura 15- Aspectos gerais das Apatitas encontradas em amostras da Formação Itaituba



Fonte: Do autor

7.5.6 Biotita

Mineral raro em ambas as formações, localmente na Formação Monte Alegre encontra-se euédrico, com hábito pseudo-hexagonal que indica a origem piroclástica para esta morfologia (Mange; Maurer, 1992). Formas irregulares e com arredondamento são também encontradas (Figura 16: Bt)

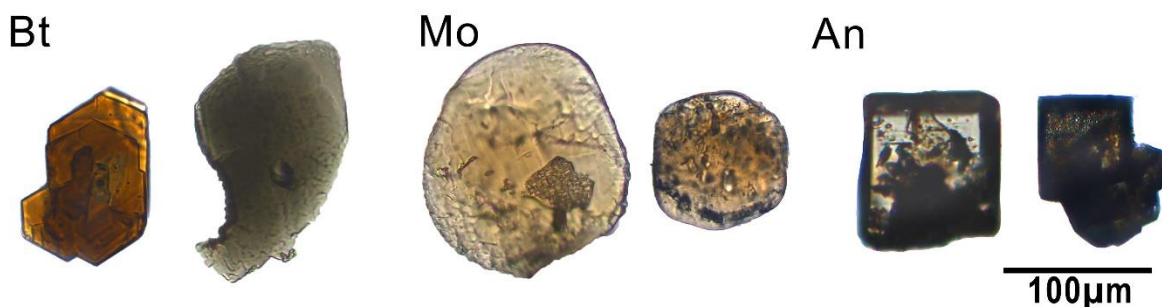
7.5.7 Monazita

Mineral muito raro e apenas encontrado em amostras da Formação Monte Alegre, em formas arredondadas e esféricas. De cor âmbar pálido, contém inclusões (Figura 16: Mo).

7.5.8 Anatásio

Mineral euédrico, encontrado em amostras da Formação Monte Alegre. Devido às suas características é considerado que se formou durante o processo diagenético e por isso foi eliminado da contagem (Figura 16: An).

Figura 16- Aspectos gerais dos minerais raros encontrados nas amostras das formações Monte Alegre e Itaituba. Bt: Biotita, Mo: Monazita, An: Anatásio.



Fonte: Do autor

7.6 Análise de índices

Os índices de minerais sensíveis a proveniência produzem uma melhor visualização para as variações na natureza dos materiais da área fonte (Morton e Hallsworth, 1994). A seguir foram plotadas variações RuZi – GZi, ZTi-RuZi e também variação dos índices com relação à profundidade relativa na amostra em perfil.

O primeiro gráfico de duas variáveis, que assimila a relação rutilo:zircão com granada:zircão exibe um *trend* para as amostras da Formação Monte Alegre, nele a relação rutilo:zircão varia de 4 a 16% e estão isoladas no canto inferior esquerdo do gráfico por conter pouca ou nenhuma granada. A primeira mudança é observada nas amostras 3B e 3C, do topo da Formação, com a mesma relação subindo para 24 a 32% e com índices granada:zircão de 70 a 80%. A partir desse momento é possível observar um novo aporte sedimentar e finalmente nas amostras de Itaituba a proporção de rutilo ultrapassa a proporção de zircão, assim como um possui uma relação granada:zircão maiores que as das amostras precedentes (Figura 17). Na imagem é possível observar em vermelho as amostras da Formação Monte Alegre e em verde as amostras definidas como pertencentes a Formação Itaituba.

Na Figura 18 é observado os valores de zircão:turmalina e os valores rutilo:zircão, nele é possível observar a mudança em hidrodinâmica e na proveniência das amostras da Formação Monte Alegre em direção à Formação Itaituba, este *trend* mostra como as amostras da Formação Itaituba podem ser individualizadas com as razões ZTi e RuZi no gráfico. Nota-se também que houve acréscimo de rutilo no sistema, ao observar a mudança nos padrões de RuZi em direção às amostras da Formação Itaituba (em destaque na cor vermelho).

Com base nos dados de campo, na coleta de amostras e observação das sobreposições das mesmas, foi criado um gráfico que relaciona a posição das amostras em um perfil hipotético, e sem escala horizontal, apenas com uma relação base-topo. Estes gráficos sugerem mudanças nos índices e na composição dos minerais pesados em perfil (Figura 19). É possível observar uma redução na quantidade de Zircão, visto no sentido base-topo, assim como aumento gradativo no índice RuZi, que ao chegar na Formação Itaituba chega a medir 50%. O índice RuZi e ATi são ótimos indicadores da transição entre as Formações Monte Alegre e Itaituba. Quanto ao índice GZi, este também pode ser utilizado como referência ao distinguir as duas formações, tanto que ele foi utilizado para modificar o limite estabelecido entre as duas formações. O índice ZTi também exhibe distinção entre as duas formações, os valores para Itaituba possuem predominância de turmalina sobre o zircão, o que não ocorre para a Formação Monte Alegre. A distinção entre as formações também é notoriamente marcada pela presença de dolomito bioturbado.

Figura 17- Plotagem das tabelas RuZi x GZi em gráfico

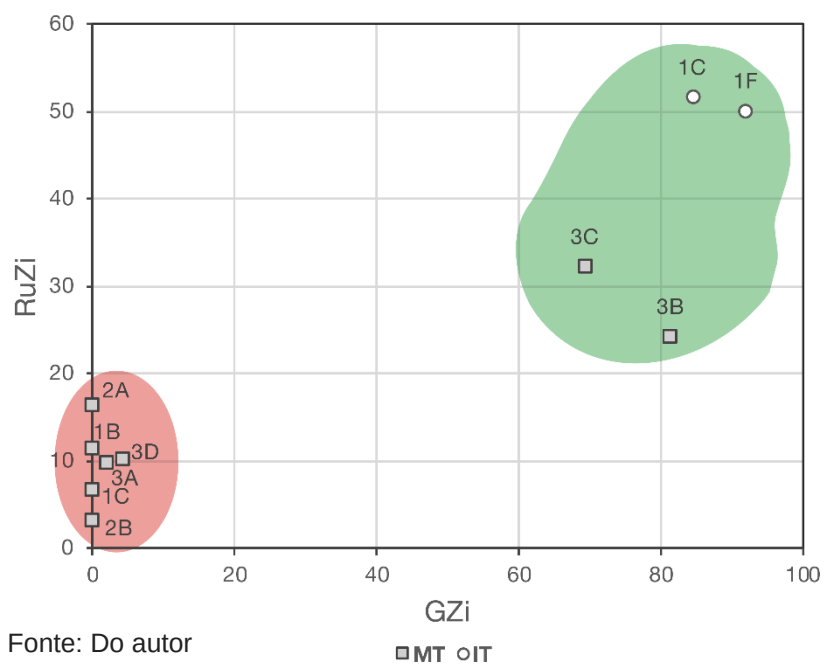


Figura 18- Plotagem das tabelas ZTi x RuZi em gráfico

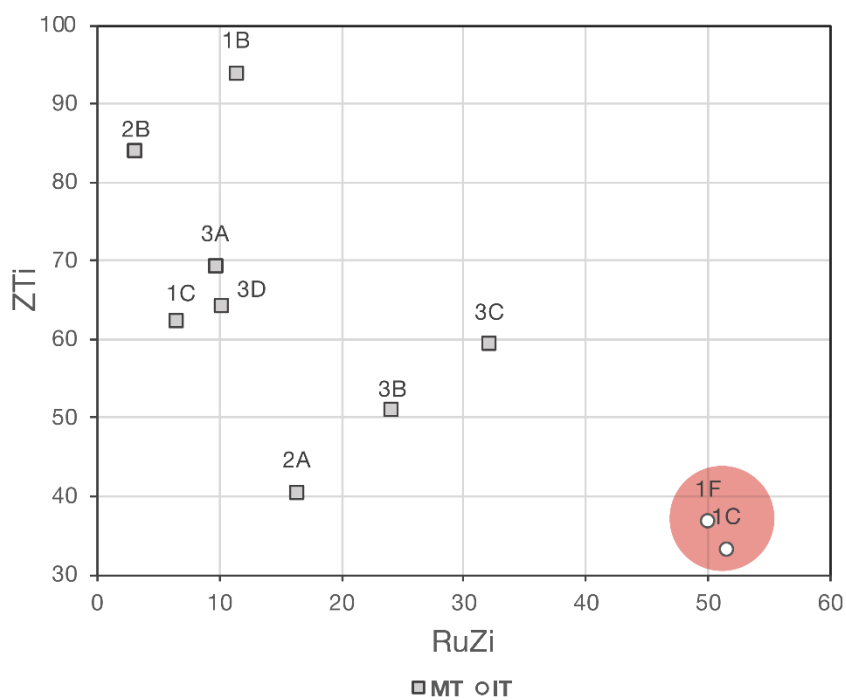
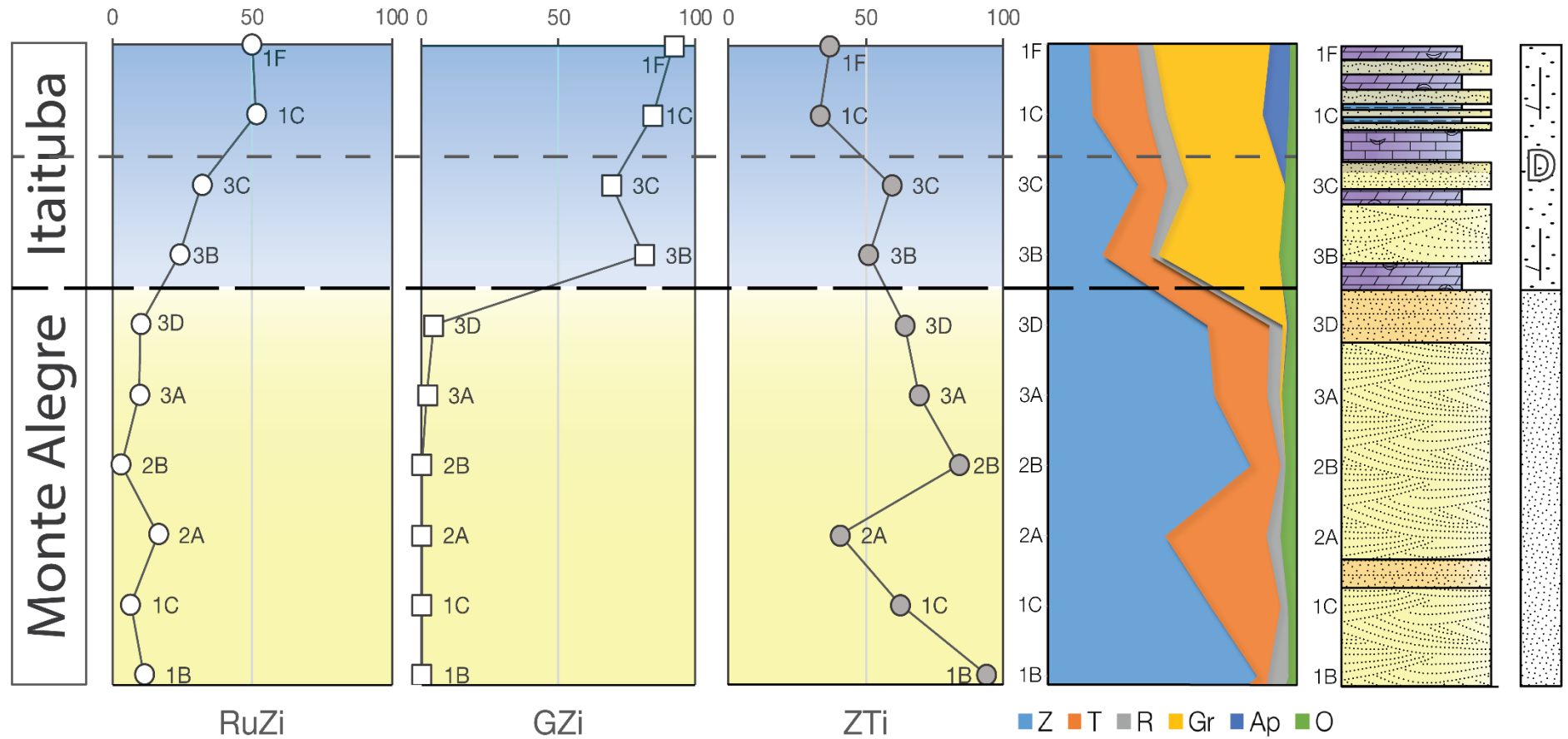


Figura 19- Relação estratigráfica das amostras, minerais pesados e índices de minerais pesados vista em perfil composto e sem relação métrica entre as mesmas. GZi: razão granada:zircão, RuZi: razão rutilo:zircão, ZTi: razão zircão:turmalina. Z: zircão, T: Turmalina, Gr: Granada, Ap: Apatita, O: Outros. Tracejado curto: Limite das formações definidas em campo, tracejado longo: Limite das formações definidas com base nos minerais pesados. D: indica que os arenitos da formação, em geral, apresentam cimentação dolomítica.



Fonte: Do autor

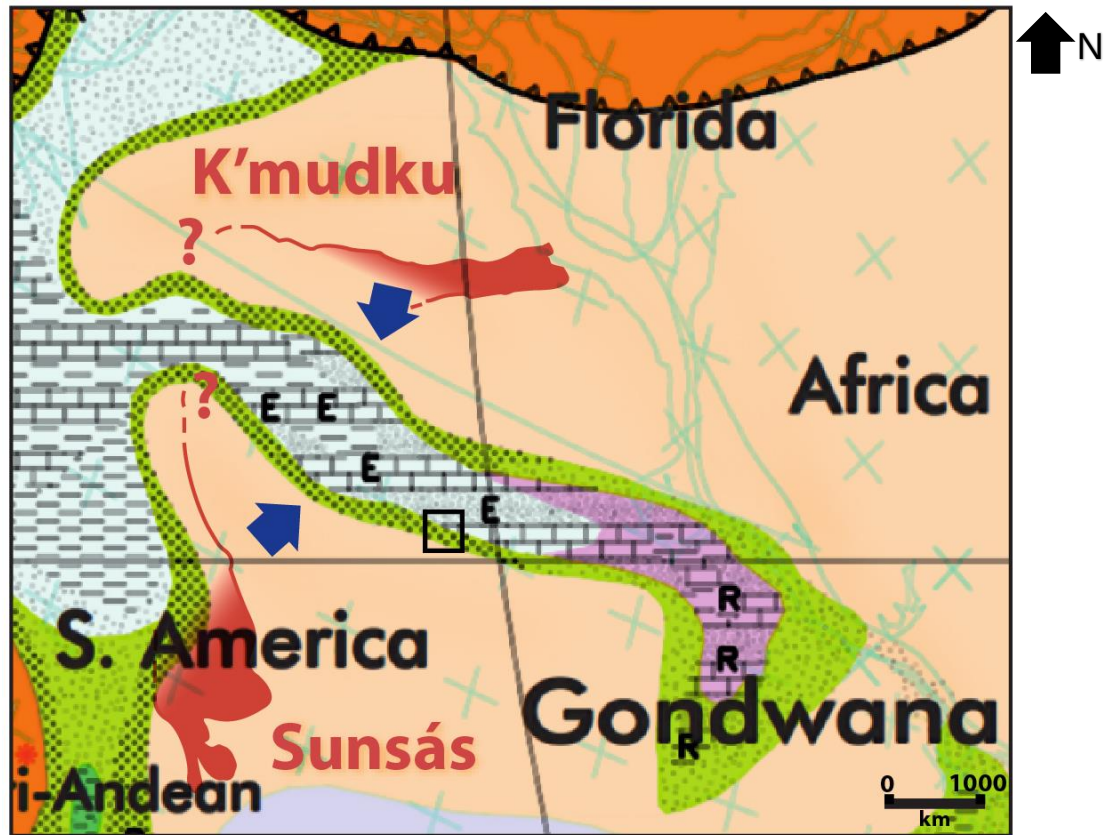
7.7 Proveniência

A determinação da proveniência, além de exigir dados varietais e estatísticos sobre a assembleia geral dos minerais pesados, exige principalmente extensas análises geoquímicas, principalmente a determinação de composição da granada e geocronologia de zircão e apatita (NÓBREGA 2008). Para a região estudada houve uma tentativa de datação por termocronologia de apatita na Formação Monte Alegre, mas os episódios de soterramento e soerguimento apagaram esses traços. No flanco norte da Bacia do Amazonas Makino et al., (2007) realizaram datações por abrasão a laser em zircões da Formação Monte Alegre, que permitiu determinar com maior segurança as idades das prováveis rochas fontes e obter idades-modelo Sm-Nd em pelitos das unidades associadas, que indicam a idade do segmento crustal que serviu de fonte das sucessões sedimentares (MURPHY et al., 2004 apud MAKINO et al., 2007). Os autores concluíram que as idades T_{DM} para os mesmos variam entre 1,35 e 1,42 Ga indicando que as áreas fonte podem ter sido formada no Mesoproterozóico. Terrenos com essa idade são encontrados no norte da Bacia do Amazonas, no Escudo das Guianas, representado pelo Cinturão K'Mudku (1,2 Ga), no sudoeste do Cráton Amazônico, na chamada Província Geocronológica Sunsás (1,3 - 1 Ga). Os dados de zircão apresentaram os seguintes intervalos: 551.9-969.2 Ma (56%), 1.20-1.53 Ga (36%) e 2.1-2.6 Ga (8%) e esses dados são interpretados como uma mistura de fontes jovens (Neoproterozóicas) e velhas (Mesoproterozóicas) (MAKINO et al., 2007). O Cráton do Amazonas na região da Bacia do Amazonas é composto predominantemente de substrato Paleoproterozóico e Arqueano. Os terrenos Neoproterozóicos encontram-se bem afastados da área de estudo.

Com base no mapa paleogeográfico proposto por Golanka (2008, 2012) e na divisão de Províncias Geocronológicas de Santos (2008) e nas informações citadas acima, foi elaborado o mapa da Figura 20, dando ênfase nos terrenos mesoproterozóicos, principais fontes de sedimento para a sequência estudada.

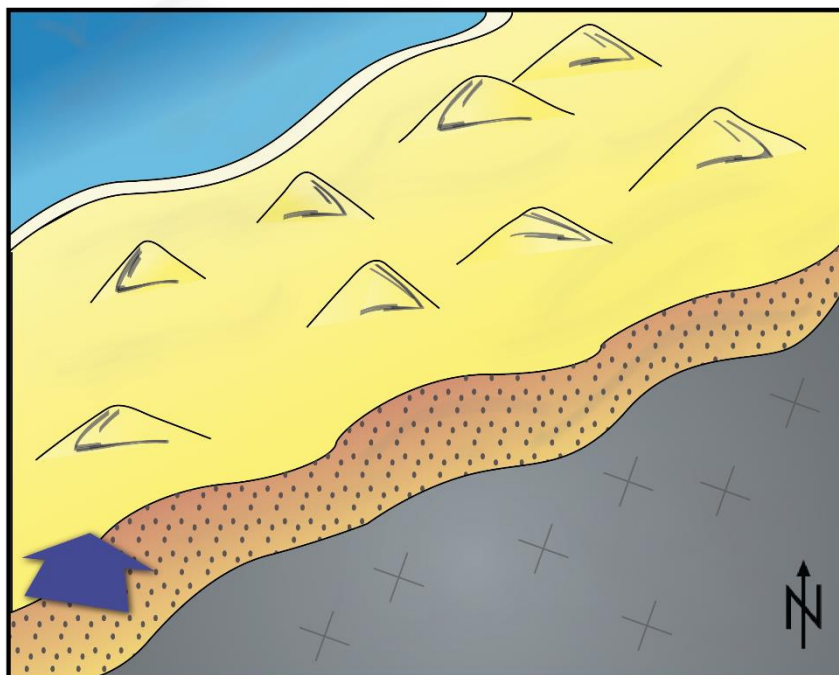
Na Figura 21 é exibido aproximadamente o paleoambiente na região de Itaituba durante o Bashkiriano (Carbonífero) e na Figura 22 a mesma região, mas durando o período seguinte do Moscoviano (Carbonífero).

Figura 20- Bacias Sedimentares Paleozóicas Sul-americanas durante o final do Carbonífero (302 Ma) com destaque para as províncias Mesoproterozóicas do Cráton Amazônico. E: Evaporitos, R: red beds. Seta indica direção do aporte sedimentar. Quadrado indica a provável localização da área estudada durante o final do carbonífero.



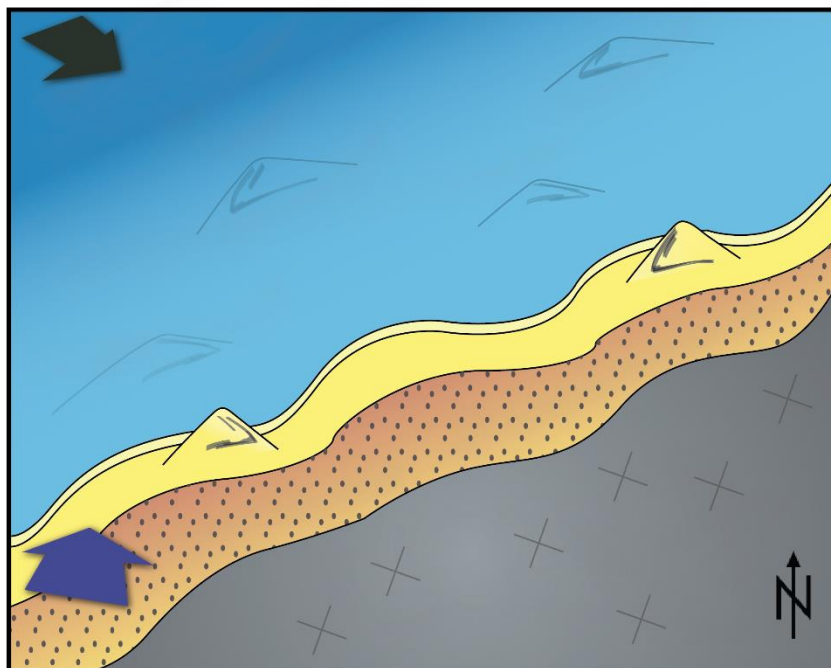
Fonte: Golonka (2012) e adaptação de Santos (2008)

Figura 21- Proposta paleoambiental da região de Itaituba durante o Bashkiriano (Carbonífero). Seta indica direção do aporte sedimentar.



Fonte: Do autor

Figura 22- Proposta paleoambiental da região de Itaituba durante o Moscoviano (Carbonífero). Seta azul indica direção do aporte sedimentar, seta preta indica sentido da transgressão.



Fonte: Do autor

8 DISCUSSÃO

A análise de minerais pesados permitiu a individualização das duas formações devido a uma modificação no suprimento fornecido por áreas fontes diferentes. Tal informação é observada com a variação dos índices de minerais pesados GZi e RuZi. O intemperismo e diagênese provavelmente tiveram forte influência sobre a assembleia total de minerais pesados com a dissolução de fases minerais mais instáveis e alteração secundária de grãos remanescentes, tendo as rochas da região características que favoreceram tais processos, como a boa porosidade dos afloramentos da Formação Monte Alegre e o fato da bacia se encontrar em uma região muito úmida, com propriedades marcadamente oxidantes. Pina (2010) sugeriu que os mesmos minerais estiveram soterrados com 2950 metros de seções sedimentares sobrepostas, com base em dados de termocronologia de apatita, o que corrobora a alteração diagenética sobre a mineralogia das formações.

Nos quarto-arenitos e subarcósios da Formação Monte Alegre, o formato alongado de alguns zircões, somado com as biotitas euédricas encontradas indicam que uma fonte ígnea piroclástica que sofreu pouco trabalhamento durante o transporte serviu como fonte pelo menos para a esta formação. Grandes quantidades de zircões com alto grau de esfericidade e de arredondamento indicam a presença de sedimentos reciclados de outras fontes sedimentares. Localmente nesta formação o mineral estável turmalina sofreu intensa dissolução.

Nas amostras da Formação Itaituba, representadas por dolomitos com terrígenos, *grainstones* e subarcósios, a proporção do mineral zircão é diminuída consideravelmente, provavelmente por uma mudança de terreno na área fonte, dando lugar ao aumento na proporção de rutilo com o aparecimento de granada e apatita. A presença do mineral apatita apenas nas amostras do topo analisadas pode ser inferida como a dissolução do mesmo em amostras que não apresentam cimentação carbonáticas. O crescimento da quantidade de granada e a mudança nos valores de RuZi indicam mudança na área fonte com uma influência maior de uma região metamórfica.

Makino et. al., (2007) indica que para a Formação Monte Alegre uma mistura de fontes jovens (Neoproterozóicas) e velhas (Mesoproterozóicas) forneceram

sedimentos para a formação e que no geral, a sequência estudada recebeu sedimentos, na sua maioria, de terrenos mesoproterozóicos. A análise varietal permitiu identificar que rochas ígneas e sedimentares adjacentes à área estudada provavelmente forneceram sedimentos a região, com um certo incremento na presença de minerais metamórficos na transição para a Formação Itaituba.

Dados de composição química da granada e assim como outros dados de geocronologia de zircão são necessários para a determinação de proveniência da região, assim como são necessários dados de outras localidades e de furo de sondagem, para que os efeitos de alteração secundária atuantes nos afloramentos sejam esclarecidos. Dados de minerais pesados, da transição entre a Formação Monte Alegre e Itaituba, em outras áreas são essenciais para estabelecer como os índices de minerais pesados se comportam e como estes podem ser utilizados na correlação de corpos arenosos através da técnica de estratigrafia de minerais pesados.

9 CONCLUSÕES

A análise de minerais pesados permitiu definir as duas formações em assembleias distintas e também modificou o contato entre as duas unidades pré-estabelecido em campo.

Os altos valores de ZTi e as características dos zircões para a Formação Monte Alegre indicam uma dinâmica no sistema deposicional diferente das amostras da Formação Itaituba, fator observado também na interpretação ambiental das fácies, sendo a primeira um ambiente de transporte predominantemente eólico e o outro subaquoso.

Os valores de RuZi indicam que ocorreu alteração de área fonte na transição entre as duas formações e que esse processo ocorreu de forma gradual.

Os valores de GZi exibem um grande contraste entre as duas formações. Na Formação Itaituba a granada torna-se o mineral dominante. Este índice foi utilizado para definir o limite entre as formações.

REFERÊNCIAS

- ALKMIM, F. F.; MARTINS-NETO, M. A. Brazil. in: SELLEY, R. C. et al. *Encyclopedia of geology*. [S.l.]: Elsevier, 2005. p. 306-328.
- CUNHA, P. R. C.; MELO, J. H. G.; SILVA, O. B. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*. v. 15, p. 227-251, 2007.
- CUNHA, P. R. C. *Análise estratigráfica dos sedimentos Eo/Mesodevonianos da porção ocidental da Bacia do Amazonas sob a ótica da estratigrafia de sequências no interior cratônico*. 2000. 263 f. Dissertação (Mestrado) - UFRGS, Porto Alegre. 2000.
- DUNHAM, R. J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: HAM, W. E. (Ed.). *Classification of carbonate rocks*. Am. Ass. Petrol. Geol., p.108 – 121, 1962.
- FARIA JUNIOR, L. E. do C. *Estudo sedimentológico da formação Pedra de Fogo-Permiano: Bacia do Maranhão*. 1979. 70 f. Dissertação (mestrado) – Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 1979.
- FARIA JUNIOR, L. E. do C. *Zur Stratigraphie und Sedimentologie der Permotrias im Maranhão-Becken, NE-Brasilien*. 1982. 156 f. Tese (doutorado) - Universität für Würzburg. Fakultät für Geowissenschaften der Maximilians, Würzburg, 1982.
- FERREIRA, A.; RIGUETI, A.; BASTOS, G. *Bacia do Amazonas, sumário geológico e setores em oferta*. Brasília, DF: Agência Nacional do Petróleo (ANP), Superintendência de Definição de Blocos, 2015. 14p.
- FOLK, R. L. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin: Hemphill publishing Co., 1968. 172p.
- FOLK, R. L. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin: Hemphill publishing Co., 1974. 182p.
- FORD, D.; GOLONKA, J. Phanerozoic paleogeography, paleoenvironment and lithofacies maps of the circum-Atlantic margins. *Marine and Petroleum Geology*. p. 249-285, 2003.
- GOLONKA, J. Paleozoic paleoenvironment and paleolithofacies maps of Gondwana. [S.l.]. AGH University of Science and Technology Press, 2012. 82 p.
- LANDIM, P.M. Minerais pesados provenientes do leito do rio Amazonas. *Acta Amazonica*, v. 13, n. 1. p. 51-72, 1983.
- LIMA, H. P. *A sucessão siliciclastica-carbonatica neocarbonifera da Bacia do Amazonas, regiões de Monte Alegre e Itaituba (PA)*. 2010. xxv, 124 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2010.

MAKINO, F. T. G.; MOURA, C. A. V.; CHEMALE JR, F. Estudo de proveniência sedimentar em arenitos da Formação Monte Alegre, região de Monte Alegre (PA). In: PDPETRO, 4. Campinas, SP: [s.n], 2007. 6p. Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_1_1_0139-1.pdf> Acesso em julho de 2016.

MANGE, M. A.; MAURER, H. *Heavy minerals in colour*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 1992. 147p.

MANGE, M. A.; WRIGHT, D. T. High-resolution heavy mineral analysis (HRHMA): a brief summary. in: _____. (eds.). *Developments in Sedimentology*, Amsterdam: Elsevier, v. 58, p. 433-436, 2007.

MATSUDA, N. S.; WINTER, W. R.; WANDERLEY FILHO, J. R.; CACELA, A. S. M. O Paleozóico da borda sul da Bacia do Amazonas, Rio Tapajós-Estado do Pará. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 18, p.123-152, 2010.

MILANI, E.J., THOMAZ FILHO, A. Sedimentary Basins of South America. In: CORDANI, U.G., MILANI, E.J., THOMAZ FILHO, A. CAMPOS, D.A. (eds.). *Tectonic evolution of South America*, Rio de Janeiro: 31st IGC, 2000. p. 389-449.

MORTON, A. C. The role of heavy mineral analysis as a geosteering tool during drilling of high-angle wells. in: MANGE, M. A.; WRIGHT, D. T. (eds.). *Developments in Sedimentology*, Amsterdam: Elsevier, v. 58, p. 1123-1142, 2007.

MORTON, A. C.; et al. Heavy mineral stratigraphy of the Clair Group (Devonian—Carboniferous) in the Clair Field, West of Shetland, UK. In: RATCLIFFE, K.T.; ZAITLIN, B.A. *Modern alternative stratigraphic techniques; theory and case histories*. [S.l.]: SEPM Special Publication, n. 94, 2010. p. 183-201.

MORTON, A. C.; HALLSWORTH, C. R. Identifying provenance specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, v. 90, p. 241–256, 1994.

MORTON, A. C.; HALLSWORTH, C. Stability of detrital heavy minerals during burial diagenesis. in: MANGE, M. A.; WRIGHT, D. T. (eds.). *Developments in Sedimentology*. Amsterdam: Elsevier, v. 58, p. 215-245, 2007.

MORTON, A. C.; KNOX, R. WO'B.; FREI, D. Heavy mineral and zircon age constraints on provenance of the Sherwood Sandstone Group (Triassic) in the eastern Wessex Basin, UK. *Proceedings of the Geologists' Association*, UK: Elsevier, v. 127, n. 4, p. 514-526, 2016.

MORTON, A. C.; KNOX, R. WO'B.; HALLSWORTH, C. Correlation of reservoir sandstones using quantitative heavy mineral analysis. *Petroleum Geoscience*, v. 8, n. 3, p. 251-262, 2002.

MORTON, A. C.; MILNE, A. Heavy mineral stratigraphic analysis on the Clair Field, UK, west of Shetlands a unique real-time solution for red-bed correlation while drilling. *Petroleum Geoscience*, 18, n.1, p.115-128, 2012.

NÓBREGA, J. E. dos S.; SAWAKUCHI, A. O.; DE ALMEIDA, R. P. Minerais pesados das porções média e superior do Grupo Guaritas (Eocambriano, RS): considerações sobre a proveniência sedimentar. *Revista Brasileira de Geociências*, n. 38, v. 3, p. 554-565, 2008.

NÓBREGA, J. E. dos S. *Proveniência sedimentar do Grupo Guaritas, Cambriano da Bacia de Camaquã (RS)*. 2011. 47f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2011.

PEREIRA, E.; CARNEIRO, C. D.; BERGAMASCHI, S.; ALMEIDA, F. Evolução das sinéclises paleozoicas: províncias Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná. in: HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. *Geologia do Brasil*, 1. ed. São Paulo: Beca, 2012. p. 374-395.

PETTIJOHN, F.J. *Sedimentary Rocks*, 3. ed. New York: Harper and Row, 1975. 628p.

PINA, A. C. M. de. *Termocronologia por traços de fissão em apatita da Borba Sul da Bacia do Amazonas, na região de Itaituba (PA)*. 2013. xvii, 126f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2010.

REMUS, M. V. D. et al. Proveniência sedimentar: métodos e técnicas analíticas aplicadas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 38, n. 2, p. 166-185, 2008.

SANTOS, J. O. S.; HARTMANN, L. A.; MCNAUGHTON N. J.; FLETCHER I. R. Timing of mafic magmatism in the Tapajós Province (Brazil) and implications for the evolution of the Amazon craton. *J. South Am. Earth Sciences*, v. 15, p. 409-429, 2002.

SANTOS, R. R. L. D. *Proveniência com base na assembléia de minerais pesados da Formação Alter do Chão, Cretáceo Da Bacia do Amazonas*. 2016. 67f. Dissertação (monografia) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2016.

SERVIÇO GEOLÓGICO (CPRM). *Mapa geológico do estado do Pará*. [S.l.: s.n], 2010.

SILVA, A. D.; LOPES, R. D. C.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, R. B. C. Bacias sedimentares paleozóicas e meso-cenozóicas interiores. in: BIZZI, L. A. (eds.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG = Geology, tectonics and mineral resources of Brazil: text, maps & GIS*. Brasília, D.F.: CPRM, 2003. p. 55-85.

SILVA, P. S. da.- *Perfis* . Confecção de figura, [S.l.: s.n.], 2016.

TUCKER, M.E. *Sedimentary Petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*, 2 ed. [S.l.]: Blackwell Scientific Publications, 1992. 260 p.

VAN LOON, A. T.; MANGE, M. A. 'In situ' dissolution of heavy minerals through extreme weathering, and the application of the surviving assemblages and their dissolution characteristics to correlation of Dutch and German Silver Sands. In: MANGE, M. A.; WRIGHT, D. T. (eds.). *Developments in sedimentology*. Amsterdam: Elsevier, 2007. v. 58, Parte 6, p. 189-213. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0070457107580064>>. Acesso em junho de 2016.

WANDERLEY FILHO, J. R.; MELO, J. H. G.; FONSECA, V. M. M.; MACHADO, D. M. C. *Bacias sedimentares brasileiras: Bacia do Amazonas*. Phoenix, Aracajú: ano 7, n. 82, 2005.

ZOLEIKHAEI, Y.; FREI, D.; MORTON, A.; ZAMANZADEH, S. M. Roundness of heavy minerals (zircon and apatite) as a provenance tool for unraveling recycling: A case study from the Sefidrud and Sarbaz rivers in N and SE Iran. *Sedimentary Geology*, v. 342, p.106-117, 2012.

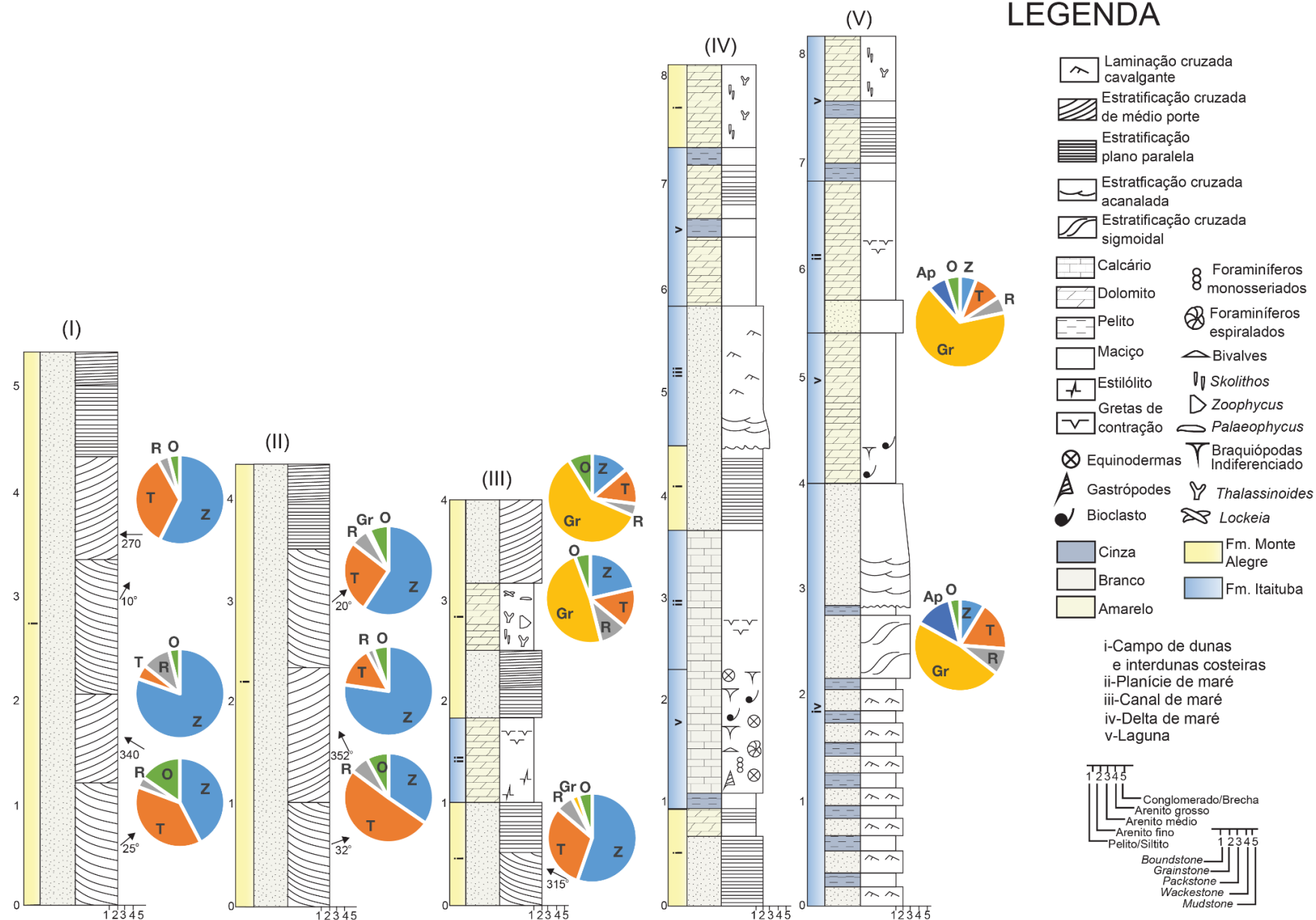
APÊNDICE

APÊNDICE A- TABELA DE CONTAGEM DE MINERAIS PESADOS. MT: FORMACAO MONTE ALEGRE, IT: FORMACAO ITAITUBA

MT	Amostra	Opacos	Zircão	Turmalina	Rutilo	Granada	Biotita	Monazita	Apatita	Estaurolita	Total
1A	G	36	133	24	2						195
	F	98	11	10	1		4				124
1B	G	19	16	34			8				77
	F	77	264	17	34		13				405
1C	F	46	143	86	10		6	1		3	295
2A	F	52	56	82	11		8			5	214
2B	F	43	184	35	6		11			2	281
3A	F	37	102	45	11	2	6			6	209
3B	F	23	22	21	7	95	5			9	182
3C	F	12	19	13	9	43	1			4	101
3D	G	18	6	13		1	2				40
	F	92	88	49	10	4	1	1	1	4	249
Total	M. Alegre	553	1044	429	101	145	65	2		33	2372
	IT	Fração	Opacos	Zircão	Turmalina	Rutilo	Granada	Biotita	Apatita	Estaurolita	Total
	1C	F	123	16	32	17	87	4	24	3	306
	1F	F	45	7	12	7	80	2	8	1	162
	Total	Itaituba	168	23	44	24	167	6	32	4	468

Fonte: Do autor

APÊNDICE B- MINERAIS PESADOS DA FRAÇÃO AREIA MUITO FINA LOCALIZADOS EM PERFIL



Fonte: Adaptado de Silva (2016)