



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

FACULDADE DE GEOLOGIA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

## TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

WALMIR DE JESUS SOUSA LIMA JÚNIOR

**SEDIMENTOLOGIA E PROVENIÊNCIA DE  
DEPÓSITOS RECENTES DO RIO AMAZONAS,  
ENTRE SANTARÉM (PA) E MACAPÁ (AP).**

GEOCIÊNCIAS  
U F P A

Belém-Pará  
Março-2013

**WALMIR DE JESUS SOUSA LIMA JÚNIOR**

**SEDIMENTOLOGIA E PROVENIÊNCIA DE  
DEPÓSITOS RECENTES DO RIO AMAZONAS,  
ENTRE SANTARÉM (PA) E MACAPÁ (AP).**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Área de Concentração: Sedimentologia /Proveniência

Orientador: Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira

Belém-Pará  
Março-2013



**WALMIR DE JESUS SOUSA LIMA JÚNIOR**

**SEDIMENTOLOGIA E PROVENIÊNCIA DE DEPÓSITOS  
RECENTES DO RIO AMAZONAS, ENTRE SANTARÉM (PA)  
E MACAPÁ (AP).**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Conceito:

Data de Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Banca Examinadora:

---

**Prof. Afonso C. Rodrigues Nogueira-Orientador**  
Doutor em Geologia Sedimentar  
Universidade Federal do Pará

---

**Prof. Joelson Soares-Membro**  
Doutor em Geologia e Geoquímica  
Universidade Federal do Pará

---

**Roberto C. de Mendonça Barbosa-Membro**  
Mestre em Geologia e Geoquímica  
Universidade Federal do Pará

*Ao meu Misericordioso Deus, aos meus avós Maria Mendes Rodriguês, Manoel Militão Rodriguês e Estér Sousa Lima pelos sábios conselhos, ao meu tio Gilvanildo Rodriguês pelo grande incentivo, a minha mãe Rosimary Mendes Rodriguês por seu incondicional amor, a meu pai Mailson Monteiro Nogueira, pelos ensinamentos e amizade, aos meus filhos Breno Sousa Lima, Nátaly Silveira Lima e Blenda Carvalho Lima, inspiração e motivo de minha luta. A todos, por tornarem meus sonhos uma realidade.*

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus, pois não amor maior que dar a própria vida por alguém. A Ti toda honra e toda glória.

A minha família pelo incentivo, dedicação e aos infintos momentos de felicidade.

A toda a Família Campos, por me acolherem em seu lar, em especial ao Sr. Manoel Campos pelo carinho e atenção no decorrer desses longos anos.

Agradeço ao meu Orientador Prof. Afonso C. Rodriguês Nogueira, por confiar em mim, e ter me instruído na elaboração desse trabalho.

Ao Prof. Pedro Walfir M. Souza Filho, por dar continuidade a minha caminhada profissional.

Aos professores Joelson Soares e José Bandeira, e todos integrantes do GSED.

À Prof.<sup>a</sup> Vânia Maria Barriga, pelos muitos e sábios conselhos.

Aos demais professores do Instituto de Geociências pelos ensinamentos transmitidos.

As técnicas de laboratório Joelma (LAMINAÇÃO) e Ana Paula (MEV) pela atenção e paciência.

Ao amigo de todos, técnico Afonso Quaresma pela significativa ajuda na construção desse trabalho.

Aos meus amigos Walnei Batista, Abner Carvalho, Roberta Costa, Claudia Daniele Silva, Flávio Semblano, Diego Lemos e Michelle Berino pelo apoio, companhia e por fazerem dos momentos difíceis apenas uma curta ponte para felicidade.

*Aqui Chegamos Pela Fé, Confiando Em Deus.  
(Arautos do Rei)*

## RESUMO

O Rio Amazonas é um dos maiores do mundo, possuindo a maior descarga hídrica e de sedimentos que são dispersados em diversas formas de leito arenosas e acumulações de material fino nas planícies de inundação. A caracterização dos depósitos arenosos passa pela leitura sedimentológica e mineralógica para fins de identificação da textura e proveniência por meio de minerais pesados. Estes sedimentos foram coletados no trecho do Rio Amazonas entre Santarém (PA) e Macapá (AP). Dunas subaquosas, *sandwaves* e barras arenosas produzidas pela coalescência de formas de leito secundárias, muitas vezes, formando baixios influenciados por fluxo e refluxo de ondas. Durante o período de águas baixas do rio, dunas eólicas tipo barcana e marcas onduladas retrabalham as barras emergentes. A distribuição granulométrica revelou predominância para partículas do tamanho areia fina. O grau de seleção variou, em geral, de bem selecionado a muito bem selecionado, já a curtose mostrou distribuições leptocúrticas e extremamente leptocúrticas, indicando a dominância de um agente geológico com alta energia. A assimetria é mais comumente positiva a muito positiva, cujas amostras representativas foram coletadas próximas às confluências entre os rios Tapajós e Xingu com o rio Amazonas, onde há uma hidrodinâmica mais baixa. A assembleia composta predominantemente por zircão (14,7%), turmalina (5,6%), estauroлита (5,4%), granada (3,8%), hornblenda (22,6%), augita (22%) e hiperstênio (14,8%), subordinadamente ocorrendo rutilo (1,9%), zoisita (2,55%), epidoto (1,3%) e polimorfos de  $Al_2SiO_5$  (1,57%). O índice de maturidade ZTR revelou predominância para valores menores que 10%, o que representou superabundância de minerais instáveis. O índice de intemperismo fornecido pela razão  $Est/ZTR+Est$  demonstrou, como já era esperado, o oposto do índice ZTi, que define o grau de retrabalhamento dos sedimentos. A predominância de grãos de minerais pesados instáveis associados a dados prévios de datação de zircão sugerem principalmente rochas ígneas da Província Amazônia Central (2,5 Ga) foram as prováveis e principais fontes contribuintes dentre as províncias geocronológicas da Amazônia Oriental.

Palavras-chave: Minerais pesados. Províncias geocronológicas. Análise granulométrica. Proveniência. Rio Amazonas.

## ABSTRACT

The Amazon River is the largest in the world, having the highest hydric and sediment discharge. The dispersion of sediments occurs in several kinds of sandy bedforms and accumulations of fine material in floodplains. The characterization of sandy deposits need of precise sedimentological and mineralogical analysis in order of identified the texture and heavy mineral-based provenance. These sediments were sampled in the Amazon River between Santarém (PA) and Macapá (AP). Subaqueous dunes, sandwaves and sandy bars formed by coalescence of secondary bedforms, forming shoals influenced by the swash/backswash of waves. During the low waters of the river aeolian barchan dune and wave ripples rework the emergent bars. The analysis of particle size distribution revealed the predominance of fine sand in the samples. The sorted degree ranged generally of well sorted to very well-sorted, the kurtosis is leptokurtic and extremely leptokurtic indicating the dominance of a high energy geological agent. The asymmetry is more commonly positive to very positive, whose representative samples were there sampled in the confluences of the Tapajós and Xingu rivers with the Amazonas river, characterized by lowerest hydrodynamic. The assembly composed predominantly of zircon (14,7%), tourmaline (5,6%), staurolite (5,4%), garnet (3,8%), hornblende (22,6%), augite (22%) and hypersthene (14,8%), occurs subordinately rutile (1,9%), zoisite (2,55%), epidote (1,3%) and polymorphs of  $Al_2SiO_5$  (1,57%). The ZTR maturity index revealed a tendency for values less than 10%, representing superabundance of unstable minerals. The rate of weathering provided by  $Est / ZTR + Est$  demonstrated, as expected, the opposite of ZTI index, which defines the degree of sediment reworking. The predominance of unstable heavy mineral grains associated with previous zircon ages suggest for studied sediments mainly that igneous rock of the Central Amazonia Province (2,5 Ga) were the major sources and major contributors among the geochronological provinces of the Eastern Amazonia.

Keywords: Heavy Minerals. Geochronological provinces. Granulometric analysis. Amazon River.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo, com destaque dentro do continente sul americano.....	16
Figura 2- Região de Almeirim. A) foto panorâmica de um dos pontos de coleta; B) destaque para o meio de transporte utilizado durante o período de amostragem e C) procedimento de coleta das amostras. ....	20
Figura 3- Distribuição das províncias geocronológicas do Cráton Amazônico .....	31
Figura 4- Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico. ....	33
Figura 5- Bacias intracratônicas brasileiras e sua relação com os principais arcos encontrados. ....	34
Figura 6- Seção geológica regional da Bacia do Amazonas .....	35
Figura 7- Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas.....	36
Figura 8- Mapa da bacia hidrográfica do Rio Amazonas, a linha tracejada estabelece os limites físicos dessa bacia e sua relação com outras, como por exemplo, a bacia de Orinoco. ....	38
Figura 9- Variação de granulometria e coloração dos sedimentos coletados, com suas respectivas nomenclaturas, ao longo da área de estudo.....	40
Figura 10- Ponta do Cururu, Alter do Chão, A) Barra arenosa composta pela coalescência de uma <i>sandwave</i> com <i>wind ripples</i> ; B) destaque para marcas onduladas parasíticas e em C) detalhe da granulometria e disposição desses grãos dentro da estrutura. ....	41
Figura 11- A) marcas onduladas simétricas de crista levemente sinuosa; B) marcas de deixa no topo da barra C) bioturbações recentes; e D) marcas onduladas assimétricas de crista levemente sinuosa com recobrimento argiloso, ocorrido durante as águas baixas. ....	42
Figura 12- Região de Prainha, A) visão geral de uma duna barcana, com outras estruturas circunvizinhas, as setas indicam a direção do vento; B) as setas evidenciam a queda de grãos; C) laminação cruzada próximo ao leito do rio Amazonas e D) laminação cruzada (em planta), as setas são indicativas das estruturas citadas.....	43
Figura 13- Diferentes formas de leito em fundos incoesivos e suas relações com a granulometria para diferentes regimes de fluxo. Tanto em microondulações como em macroondulações (dunas), as cristas das marcas onduladas tendem a se tornar descontínuas com o aumento da energia do fluxo ( <i>a</i> = cristas retilíneas; <i>b</i> = cristas ondulatórias; <i>c</i> = cristas linguóides; e <i>d</i> = cristas em meia lua). ....	44

Figura 14- Comparação entre os diâmetros médios das partículas dos rios Mississipi e Amazonas, A) partindo de Santarém (PA) diminuição do tamanho médio das partículas até Macapá (AP); B) iniciando em Iquitos até a foz do rio Amazonas, oscilação do tamanho médio, sem evidências de uma redução do tamanho das partículas e C) Padrão dos grandes cursos d'água aluviais, partículas menores e mas homogêneas em direção à foz, como exemplo o rio Mississipi. ....	45
Figura 15- Distribuição dos valores de curtose em relação à média para os sedimentos coletados. ....	47
Figura 16- Distribuição dos valores de assimetria em relação à média para os sedimentos coletados. ....	47
Figura 17- Gráficos de morfometria e morfologia com seus respectivos valores plotados em porcentagem.....	48
Figura 18- Partículas de quartzo do tamanho areia média. Siglas menores são referentes a morfometria, estabelecendo o grau de arredondamento e esfericidade. Já as siglas maiores representam a morfoscopia. ....	49
Figura 19- Índices ZTR, Est/ZTR+Est e ZTi, além da razão entre minerais opacos e não opacos. ....	52
Figura 20- Aspectos morfológicos e texturais dos grãos de augita.....	54
Figura 21- Aspectos morfológicos e texturais dos grãos de hiperstênio. ....	55
Figura 22- Aspectos morfológicos e texturais dos grãos de hornblenda. ....	56
Figura 23- Aspectos morfológicos e texturais de grãos do grupo do epidoto, além do topázio. (x) nicóis cruzados.....	57
Figura 24- Aspectos morfológicos e texturais dos grãos minerais de $Al_2SiO_5$ .....	59
Figura 25- Aspectos morfológicos e texturais dos grãos de estaurolita. ....	60
Figura 26- Aspectos morfológicos e texturais dos grãos de granada. ....	61
Figura 27- Aspectos morfológicos e texturais dos grãos de A) zircão, B)e C) turmalina, D) polimorfos de $(TiO_2)$ e titanita.....	64
Figura 28- Gráfico representando os tipos morfológicos de turmalina para os sedimentos do Rio Amazonas.....	66
Figura 29- Gráfico representando os tipos morfológicos de zircão para os sedimentos do Rio Amazonas .....	67
Figura 30- Bloco diagrama mostrando as prováveis áreas-fonte indicadas pelas setas.....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Ordem de estabilidade dos minerais pesados em relação a diferentes fatores e autores.....	24
Tabela 2- Classificação do índice ZTR de acordo a porcentagem encontrada.....	26

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	15
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	17
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	18
3.1	ESTUDOS ANTERIORES .....	18
3.2	TRABALHO DE CAMPO .....	19
3.3	ETAPA LABORATORIAL .....	19
<b>3.3.1</b>	<b>Separação granulométrica</b> .....	19
<b>3.3.2</b>	<b>Separação e identificação dos minerais pesados</b> .....	21
<b>3.3.3</b>	<b>Morfoscopia e morfometria dos grãos de quartzo</b> .....	21
3.4	MINERAIS PESADOS E PROVENIÊNCIA (ESTADO DA ARTE).....	23
3.5	QUANTIFICAÇÃO DA ASSEMBLEIA DE MINERAIS PESADOS, DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES MINERALÓGICOS (ZTR, EST/ZTR E ZTI) E TIPOS MORFOLÓGICOS DE ZIRCÃO E TURMALINA. ....	26
3.6	ASPECTOS DESCRITIVOS .....	28
3.7	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS .....	29
<b>3.7.1</b>	<b>Curtose</b> .....	29
<b>3.7.2</b>	<b>Assimetria</b> .....	29
<b>4</b>	<b>ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	30
4.1	PROVÍNCIAS GEOCRONOLÓGICAS DO CRÁTON AMAZÔNICO EMBASAMENTO DA BACIA DO AMAZONAS.....	30
<b>4.1.1</b>	<b>Província Amazônia Central</b> .....	30
<b>4.1.2</b>	<b>Província Maroni-Itacaiúnas</b> .....	31
<b>4.1.3</b>	<b>Província Ventuari-Tapajós</b> .....	32
<b>4.1.4</b>	<b>Modelo De Santos et al. (2000)</b> .....	32
4.2	BACIA DO AMAZONAS .....	33
<b>4.2.1</b>	<b>Preenchimento Sedimentar</b> .....	35
4.3	O RIO AMAZONAS .....	37

<b>5</b>	<b>OS SEDIMENTOS ARENOSOS DA CALHA DO RIO AMAZONAS</b> .....	39
5.1	BARRAS ARENOSAS RECENTES .....	39
5.2	CARACTERIZAÇÃO TEXTURAL.....	45
5.2.1	Curtose.....	46
5.2.2	Assimetria .....	46
5.3	MORFOSCOPIA E MORFOMETRIA DOS GRÃOS DE QUARTZO.....	46
<b>6</b>	<b>MINERAIS PESADOS</b> .....	50
6.1	MINERAIS PESADOS TRANSPARANTES DE SEMENTOS RECENTES DO RIO AMAZONAS.....	50
6.1.1	Quantificação .....	50
6.1.2	Índice Zircão, Turmalina e Rutilo (ZTR), relacionado com a Estauroлита (Est/ZTR+Est) e Índice ZTi (Turmalina/Zircão+Turmalina).....	50
6.1.3	Piroxênios e Anfibólios .....	51
6.1.4	Grupo do Epidoto .....	56
6.1.5	Titanita ( $\text{CaTiSiO}_4(\text{OH},\text{F})$ ) .....	57
6.1.6	Topázio ( $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH},\text{F})_2$ ) .....	58
6.1.7	Polimorfos ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ) .....	58
6.1.8	Estauroлита ( $(\text{Fe}^{+2},\text{Mg})_2(\text{Al},\text{Fe}^{+3})_9\text{O}_6(\text{SiO}_4)_4(\text{O},\text{OH})_2$ ) .....	59
6.1.9	Granada ( $(\text{Mg},\text{Fe},\text{Mn})_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ ).....	60
6.1.10	Turmalina ( $(\text{Na},\text{Ca})(\text{Mg},\text{Al},\text{Li})_3(\text{Al},\text{Fe},\text{Mn})_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$ ).....	61
6.1.11	Polimorfos de $\text{TiO}_2$ .....	62
6.1.12	Zircão ( $\text{ZrSiO}_4$ ) .....	62
<b>7</b>	<b>MORFOLOGIA DOS ZIRCÕES E TURMALINAS</b> .....	65
<b>8</b>	<b>DISCUSSÕES</b> .....	68
8.1	PROVENIÊNCIA.....	69
<b>9</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	73
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	77
	<b>APÊNDICES</b> .....	82

<b>APÊNDICE A- QUANTIFICAÇÃO DOS MINERAIS PESADOS .....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICE B- PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DOS SEDIMENTOS.....</b>	<b>85</b>
<b>APÊNDICE C- ÍNDICE ZTR, Est/ZTR+Est, ZTi e RELAÇÃO ENTRE MINERAIS OPACOS E NÃO OPACOS.....</b>	<b>.86</b>

## 1 INTRODUÇÃO

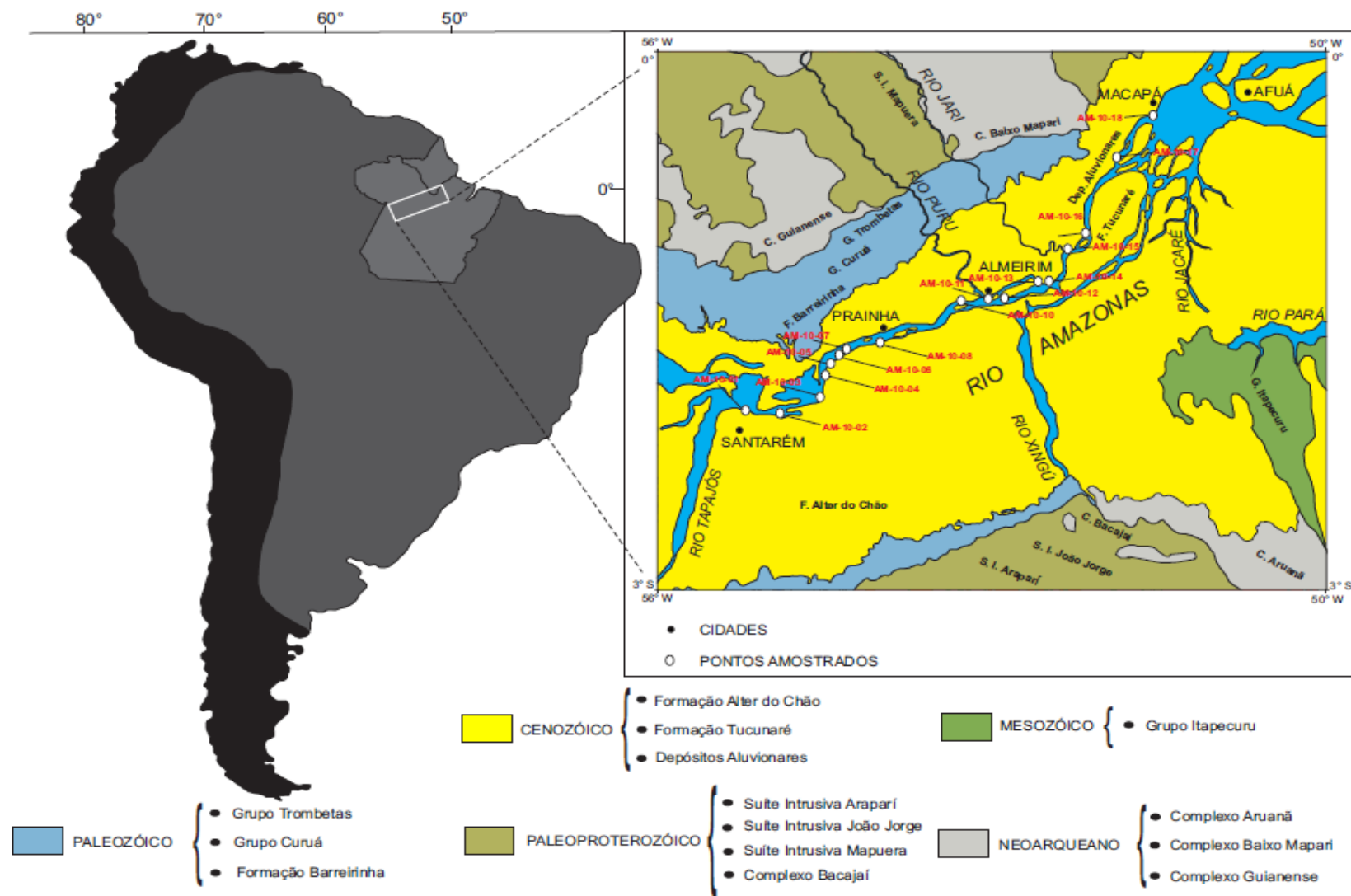
Nos últimos anos, o Rio Amazonas tem sido alvo de constantes pesquisas relacionadas à sua evolução cenozóica, bem como as implicações desses eventos no desenvolvimento da biodiversidade da Amazônia (CAMPBELL et al. 2006; FIGUEIREDO et al. 2009; HOORN, 1994; HOORN et al. 1995; NOGUEIRA, 2008; POTTER, 1997; RODAZ et al., 2005). Além disso, o potencial energético desta região, principalmente com a descoberta do polo petrolífero de Urucu, alavancou o conhecimento dos depósitos paleozóicos da Bacia do Amazonas, elevando o interesse da região do ponto de vista econômico. Por outro lado os depósitos sem ocorrência de hidrocarbonetos de idade cenozóica têm sido investigados pontualmente. No que concerne os depósitos recentes, são importantes para o entendimento da dinâmica fluvial, bem como da proveniência.

Os depósitos quaternários e recentes do Rio Amazonas, objeto deste trabalho de conclusão de curso (TCC), guardam uma história sedimentar que necessita ser melhor investigada. Assim, pretende-se caracterizar as formas de leito, a textura dos sedimentos e a proveniência, com base em minerais pesados, dos depósitos recentes da calha do Rio Amazonas entre as cidades de Santarém (PA) e Macapá (AM), região centro-leste da Bacia do Amazonas. (Figura 1). A coleta de amostras de barras arenosas ativas expostas no rio foi realizada em Janeiro de 2010 e encontram-se armazenadas no Laboratório de Sedimentologia da UFPA. Esta pesquisa fornece a oportunidade de estudar a composição mineralógica dos depósitos recentes ao longo do Rio Amazonas, bem como, por meio da análise de minerais pesados, indicar as prováveis áreas fontes e compará-las com as províncias geocronológicas da Amazônia Oriental. Além disso, os resultados obtidos neste TCC poderão ser comparados com outras pesquisas desenvolvidas na região como as de Nordin et al. (1981), Franzinelli e Potter (1982, 1983, 1985), Landim et al. (1983) e Mendes (2010) e contribuir para o melhor entendimento da dinâmica fluvial e das áreas-fonte.

## 1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área alvo deste TCC corresponde a um trecho do Rio Amazonas localizado entre as cidades de Santarém-PA e Macapá-AP, sendo limitada pelas coordenadas ( $2^{\circ} 26' 14''$  S e  $54^{\circ} 40' 52''$  W) do primeiro ponto amostrado e ( $0^{\circ} 3' 23''$  S e  $51^{\circ} 06' 10''$  W) do último (Figura 01), compreendendo em linha reta a uma distância de aproximadamente 500 km, podendo ser acessada a partir das rodovias PA 370 ou PA 457 e AP 010 ou AP 070.

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo, com destaque dentro do continente sul americano.



Fonte: Modificado de Cunha et al. (1994)

## **2 OBJETIVOS**

Como objetivos principais a serem abordados, temos:

- a) Caracterização das formas de leito dos depósitos recentes do Rio Amazonas no trecho estudado;
- b) Identificação e quantificação dos minerais pesados transparentes que ocorrem ao longo dessa área;
- c) Sugerir a proveniência desses depósitos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ESTUDOS ANTERIORES

O trabalho realizado por Nordin et al. (1981), revelou que a distribuição de sedimentos ao longo do leito do Rio Amazonas desde Iquitos (Peru) até Macapá (Brasil), numa distancia de aproximadamente 3.500 Km, é principalmente constituído por partículas de tamanho areia fina. No entanto, este estudo não mostrou a ocorrência de uma redução no tamanho das partículas rio abaixo, como encontrado na maioria dos cursos d'água aluviais, como por exemplo, o rio Mississipi.

Franzinelli e Potter (1982), ao confrontarem as areias recentes dos afluentes maiores do Rio Solimões-Amazonas, verificaram que 60% dessas areias possuem composição de arenito quartzoso, 27% de arenito sub-lítico e apenas 13% corresponde a arenito lítico, em contraposição as areias do próprio rio Solimões-Amazonas, que são, na maioria, de arenitos líticos.

Ao analisar o conteúdo de minerais pesados em sedimentos do rio Amazonas, Landim et al. (1983) constataram que sua carga sedimentar é caracterizada como sendo proveniente de rochas andinas. Além disso, verificaram que a partir da foz em direção a leste houve um aumento na maturidade das assembleias de minerais pesados, cujas associações compostas por hiperstênio, augita e anfibólio, tornam-se mais estáveis com a inclusão dos minerais turmalina e zircão. Concluíram relacionando que as altas porcentagens de zircão e turmalina seriam um indicativo de fontes nos escudos Pré-cambrianos a norte e sul do Rio Amazonas.

Franzinelli e Potter (1985), procurando ressaltar as características texturais, petrográficas e químicas das areias recentes da Bacia Amazônica, constataram que ao longo do Rio Solimões-Amazonas, o teor de quartzo aumenta, os fragmentos de rochas diminuem e a quantidade de feldspato sofre sensíveis variações. As amostras coletadas à jusante de Santarém exibiram grande variação composicional, desde sub-lítica a quartzítica, sendo relacionadas com afluentes terciários do rio Solimões-Amazonas.

Mendes (2010), ao estudar regiões próximas a cidade de Óbidos-PA, em especial depósitos expostos em barrancos do Rio Amazonas, observou que as assembleias de minerais pesados é formada por zircão, turmalina, cianita, rutilo, estauroлита, monazita, esporadicamente andaluzita e espinélio, com índice ZTR médio de 85%. Fraturas conchoidais e marcas de impacto eram comuns aos zircões e turmalinas enquanto feições de dissolução química ocorriam em grãos de cianita e estauroлита. Segundo o autor, os grãos de quartzo, bem

como os de minerais pesados, seriam provenientes de rochas ígneas e metamórficas (granitos e gnaisses).

## 3.2 TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo foi realizado no mês de Janeiro de 2010, início do período chuvoso na região oeste do Estado do Pará. Foram coletados de 17 amostras em barras ativas da calha do Rio Amazonas (Figura 2), influenciadas principalmente pelo fluxo unidirecional fluvial como também, por correntes subordinadas de maré (KUSUTH et al. 2009). Locais onde ocorrem escarpas fluviais com exposições de depósitos mais antigos foram evitadas para que não houvesse contaminação das assembleias mineralógicas recentes. Da mesma forma, áreas com influência antrópica também foram evitadas.

Todas as amostras são inconsolidadas e friáveis e, visualmente, predominam grãos de areia de quartzo monominerálico, alguma vezes com envelopes de óxido e hidróxido de ferro.

## 3.3 ETAPA LABORATORIAL

### 3.3.1 Separação granulométrica

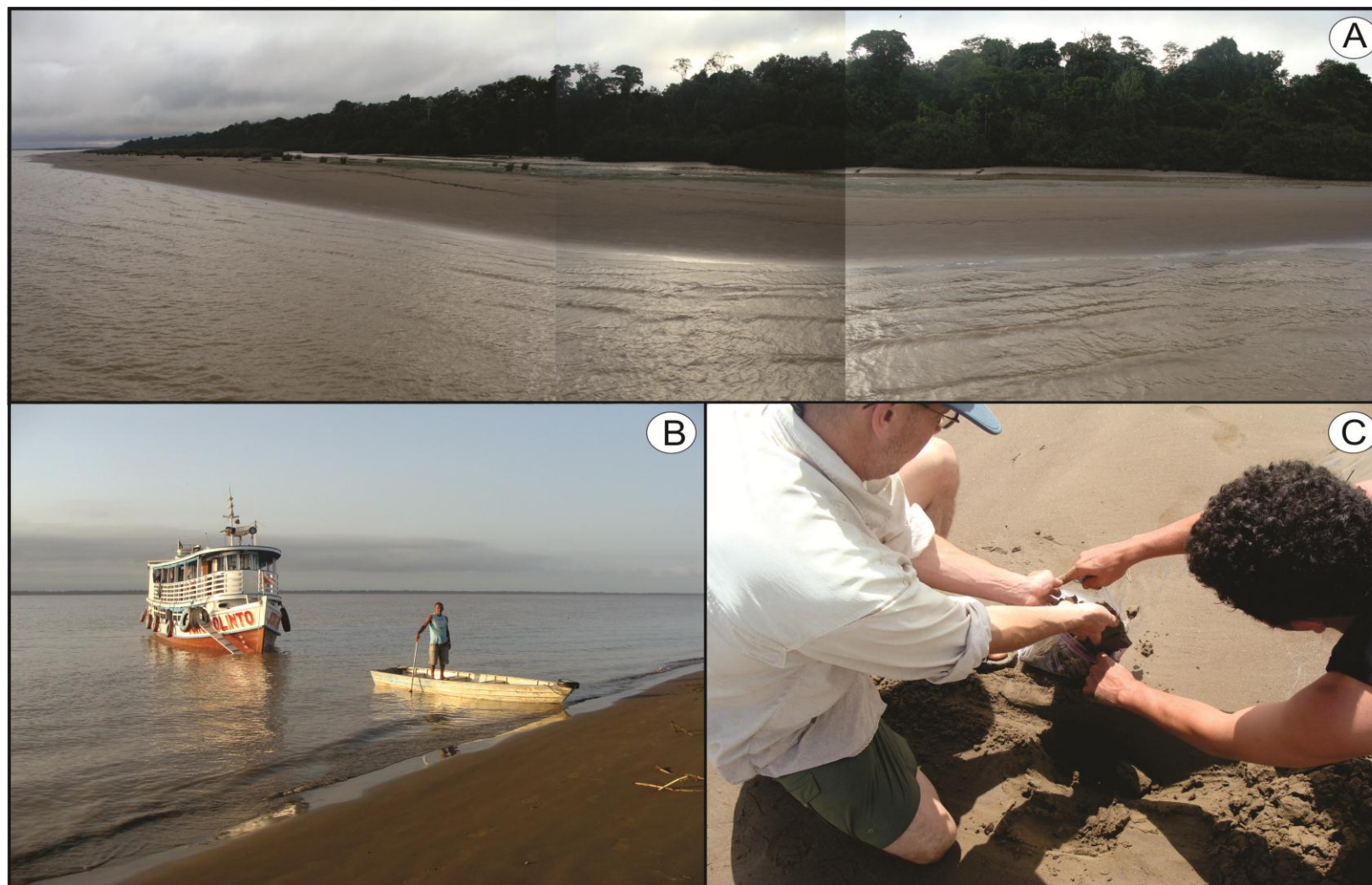
Foram seguidos os procedimentos usuais para o trabalho com sedimentos inconsolidados (SUGUIO, 1980) tendo sido modificados para as especificidades do estudo, no entanto manteve-se o padrão adotado na maioria dos laboratórios de sedimentologia, sendo que tanto as análises granulométricas quanto a separação dos minerais pesados seguiram essas normas.

A preparação das amostras iniciou-se com a separação de 150 g de sedimentos inconsolidados para secagem em estufa a 50 °C, visando obter a eliminação da umidade, sendo em seguida realizado seu destorroamento e quarteamento. Para assim processar o peneiramento.

Antes de iniciar o peneiramento para escolha da fração a ser analisada, as partículas finas (silte/argila) foram removidas através do peneiramento a úmido para evitar a floculação durante o processo de separação por líquido denso, utilizando-se de uma peneira com abertura 0,0625 mm. Desta forma, o material úmido restante com silte e argila foram centrifugados a 1000 rpm, tendo em vista que nesta velocidade o silte se concentra no fundo do recipiente e argila continua em suspensão.

Em seguida, a argila foi descartada e o silte colocado em um recipiente de cerâmica, sendo levado a estufa e permanecendo nesta a uma temperatura de 100° C. No final desta

**Figura 2-** Região de Almeirim. **A)** foto panorâmica de um dos pontos de coleta; **B)** destaque para o meio de transporte utilizado durante o período de amostragem e **C)** procedimento de coleta das amostras.



Fonte: Do autor

etapa realizou-se a pesagem. Portanto, subtraindo-se o peso do silte e areia da quantidade inicial temos então o peso da fração argila. Já a fração areia foi submetida ao peneiramento a seco padrão, utilizando-se um conjunto de peneiras com diferentes diâmetros, variando de (2 mm a 0,0625 mm), acopladas a um agitador mecânico por um período de 10 min para cada amostra.

O processo de peneiramento envolveu também, além da seleção do tamanho do grão, a seleção da forma do mesmo, sendo este fato extremamente importante no caso dos minerais pesados, que exibem uma variação na forma muito maior que os minerais leves (WANG; KOMAR, 1985). Cada fração obtida a partir do peneiramento foi pesada, e estes dados utilizados para estudos granulométricos e estatísticos, que serão descritos no **(item 5)**.

### 3.3.2 Separação e identificação dos minerais pesados

A fração granulométrica de cada amostra utilizada para separação foi a grossa, equivalente ao intervalo de (0,250 mm e 0,125 mm) e a fina no intervalo de (0,125 mm a 0,062 mm). Os minerais pesados foram concentrados utilizando a técnica de separação por líquido denso, assim utilizou-se o Bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ), cuja densidade aproximada de  $2,89 \text{ g/cm}^3$  a  $20^\circ\text{C}$ .

Após a fase de separação, cada fração obtida foi seca e pesada, para que posteriormente realizasse-se a remoção das concentrações de ferro presentes nos minerais pesados separados, através do uso de uma solução de ácido clorídrico a 10%.

Por fim, os grãos de minerais pesados foram montados em laminas de emersão, para identificação e descrição, para isso, utilizou-se o Microscópio Petrográfico da marca ZEISS AxiosKop 40 com câmera acoplada AxioCam HRc do Laboratório de Petrografia Sedimentar/ Sala de Pesquisa do GSED.

### 3.3.3 Morfoscopia e morfometria dos grãos de quartzo.

#### 3.3.3.1 Morfoscopia

A descrição morfoscópica teve como procedimento à visualização dos grãos de quartzo de granulometria areia média a grossa sob lupa óptica, seguindo o descrito por Cailleux (1942<sup>1</sup>, apud DIAS, 2004) que a classificou como sendo uma determinação estatística dos diferentes tipos de grãos de quartzo em depósitos arenosos, tendo como foco

---

<sup>1</sup> CAILLEUX, A., Les actions éoliennes périglaciaires en Europe. *Soc. Geol., France. Mem. Nouv.*, v.21, n.1-2. p. 46-176. 1942.

principal a história evolutiva dos mesmos desde seu desmenbramento da rocha fonte, até sua deposição. Para tal, realizou-se a identificação de feições superficiais nos grãos desse mineral, as quais possuem particularidades que variam de acordo com o agente exógeno, tais como (fluvial e eólico).

Segundo o autor acima citado, os três tipos morfoscópicos básicos, são os grãos: *nón uses*- não sujeitos a transporte durante tempo suficiente para adquirirem marcas em suas superfícies e tornar-se arredondados; *emoussés-luisants*- aqueles que foram sujeitos a intenso transporte em meio aquoso e o *ronds-mats*- os quais já experimentaram intenso transporte eólico, sendo descritos mais detalhadamente abaixo.

#### 3.3.3.1.1 Grãos NU (“*nón uses*”) (*não desgastados angulosos*)

Grãos cujos contornos são angulosos apresentando arestas cortantes. Suas faces encontram-se preservadas, sendo côncavas e convexas, típicas da fratura conchoidal do quartzo. Tendo sido recentemente introduzido no ciclo sedimentar, onde sua origem é relacionada como direta da desagregação mecânica das rochas.

#### 3.3.3.1.2 Grãos EL (“*emoussés-luisants*”) (*boleados brilhantes*)

Grão de variadas formas, mas sempre apresentando contornos arredondados, sendo caracterizados como um produto do transporte em meio hídrico, o qual provoca choques relativamente pouco violentos, isso devido à viscosidade da água ser relativamente alta quando comparada a outros fluidos, por exemplo, o ar. Assim, gerando apenas fraturamento e remoção das partes salientes, levando a um polimento suave da superfície, dando ao grão um aspecto brilhante.

#### 3.3.3.1.3 Grãos RM (“*ronds-mats*”) (*arredondados baços*)

Contornos em geral, mais arredondados do que na classe anterior, frutos de violentos choques entre os grãos devido à baixa viscosidade do ar, essas colisões provocam a abertura de fendas e liberação de lascas microscópicas, dando a superfície um aspecto picotado e irregular, inibindo assim a reflexão perfeita da luz, gerando a estes um aspecto de baço.

No entanto, Cailleux<sup>2</sup> (1945, apud SUGUIO, 1980) identificou que a maioria dos grãos de quartzo mostra superfícies polidas em ambiente marinho. Mas, que em ambientes fluviais somente uma pequena parcela apresenta-se com superfícies brilhantes e polidas.

<sup>2</sup> CAILLEUX, A., Distinction des galets marins et fluviaux. *Bull. Soc. Géol. France*, v. 5, n. 15, p. 375-404. 1945.

### 3.3.3.2 Morfometria

Segundo Suguio (1980), a morfometria compreende ao estudo da forma dos grãos, representadas em diferentes padrões (esfericidade e arredondamento) das partículas sedimentares detríticas, onde de modo geral ocorre uma correlação positiva entre os mesmos, ou seja, partículas menos esféricas são menos arredondadas. Esse mesmo autor sugere que o aumento do grau de arredondamento e esfericidade é acompanhado por graus de maturidade mais elevados. Para a caracterização das diferentes formas utilizou-se o proposto por Shepard (1967) e Powers (1953), onde estabeleceram seis grupos de grau de arredondamento, já para a esfericidade o trabalho de Krumbein (1941) foi o utilizado.

## 3.4 MINERAIS PESADOS E PROVENIÊNCIA (ESTADO DA ARTE)

Conceituados como sendo constituintes primários que não ultrapassam 1% do volume das rochas sedimentares e possuindo densidade maior que 2,85 g/cm<sup>3</sup>, os minerais pesados, os quais, apesar de sua baixa concentração, desempenham um importante papel no estudo petrológico de sedimentos, tais como proveniência e dispersão sedimentar, (MORTON, 1984; MORTON; HALLSWORTH 1994).

Existem mais de 100 variedades de minerais pesados, onde os mais comuns não ultrapassam 20, que em sua maioria possuem um baixo grau de sobrevivência em superfície devido às instabilidades químicas e mecânicas. Devido a isto, muitos autores propuseram uma ordem de resistência para esses minerais, (Tabela 1, MORTON, 1985; PETTIJOHN, 1941; PETTIJOHN *et al.* 1972). De maneira genérica, quanto maior for o valor do conjunto temperatura-pressão de formação do mineral, menos estável o mesmo será sob condições de intemperismo (PUPIN 1980).

Durante o transporte sedimentar, minerais que possuem clivagens vão se fragmentando, fato que culmina com a abertura de caminhos para alterações químicas e faz com que desapareçam ao longo deste processo, assim fases minerais menos resistentes são eliminados de maneira progressiva (ADDAD, 2001).

Tabela 1- Ordem de estabilidade dos minerais pesados em relação a diferentes fatores e autores.

ORDEM DE PERSISTÊNCIA	ORDEM DE ESTABILIDADE QUÍMICA		
	Modificado de PETTIJOHN (1941)	(PETTIJOHN <i>et al.</i> 1972)	AMBIENTE DE INTEMPERISMO (MORTON 1985)
OLIVINA SILLIMANITA PIROXÊNIO TITANITA ANDALUZITA ANFIBÓLIO-Ca GLAUCOFANA EPIDOTO CIANITA ESTAUFOLITA MONAZITA XENOTÍMIO APATITA GRANADA ZIRCÃO TURMALINA ZIRCÃO	<p><i>MUITO INSTÁVEIS</i></p> OLIVINA	OLIVINA, PIROXÊNIO ANFIBÓLIO TITANITA APATITA EPÍDOTO, GRANADA CLORITÓIDE, ESPINÉLIO ESTAUFOLITA CIANITA ANDALUZITA, SILLIMANITA TURMALINA, RUTILO ZIRCÃO	OLIVINA, PIROXÊNIO ANDALUZITA, SILLIMANITA ANFIBÓLIO EPIDOTO TITANITA CIANITA ESTAUFOLITA CLORITÓIDE, ESPINÉLIO GRANADA APATITA RUTILO, TURMALINA E ZIRCÃO
	<p><i>INSTÁVEIS</i></p> HORNBLENDA ACTINOLITA AUGITA DIOPSÍDIO HIPERSTÊNIO ANDALUZITA		
	<p><i>MODERADAMENTE ESTÁVEIS</i></p> EPIDOTO CIANITA GRANADA >Fe SILLIMANITA TITANITA ZOISITA		
	<p><i>ESTÁVEIS</i></p> APATITA GRANADA <Fe ESTAUFOLITA MONAZITA		
	<p><i>ULTRAESTÁVEIS</i></p> RUTILO ZIRCÃO TURMALINA ANATÁSIO		

Fonte: (PETTIJOHN, 1941; PETTIJOHN *et al.* 1972; MORTON, 1985)

Proveniência refere-se especificamente a natureza, composição e dimensão da rocha fonte, relevo e clima na mesma, (SUTTNER, 1974). Um dos problemas encontrados durante o uso de minerais pesados para interpretar proveniência é que suas assembleias, em geral, não refletem tão somente a composição das rochas-fonte, ou seja, porque a proveniência original é modificada por uma gama de processos que operam em diferentes fases durante o ciclo sedimentar, principalmente fracionamento hidrodinâmico e abrasão mecânica, (MORTON; HALLSWORTH, 2007).

Em sistemas fluviais a abundância de minerais instáveis pode ser reduzida durante períodos de intemperismo ou durante a sua armazenagem nas planícies de inundação (*aluvial storage*), particularmente em trópicos húmidos (MORTON; HALLSWORTH, 2007). Johnsson et al. (1991) demonstrou a importância desse processo para maior parte das partículas tamanho areia, trabalhos subsequentes tem mostrado que este processo também pode ser efetivo na modificação de aspectos das suítes de minerais pesados (MORTON; JOHNSSON, 1993).

Uma província de minerais pesados é caracterizada pela presença de espécies raras ou ausentes em províncias adjacentes, sendo que um dos principais vetores controladores das características das suítes de minerais pesados é o fator ou comportamento hidráulico (MANGE; MAURER 1992; MORTON; HALLSWORTH, 1994, 2007). No entanto não há dúvidas que grãos minerais com propriedades hidráulicas similares tenham um comportamento semelhante.

O fator hidráulico que opera durante o transporte é controlado por condições particulares de regime hidráulico, onde esse efeito resulta na seleção de grãos de acordo com o tamanho, forma e densidade. O fator forma controla a relativa abundância de minerais com diferentes hábitos, assim minerais com hábitos prismáticos comportam-se diferentemente daqueles com hábito placoso. Esse comportamento é levado ao extremo com as micas, partículas de mica do tamanho areia, mesmo que tão densas quanto o quartzo, são hidráulicamente equivalentes a grão de quartzo do tamanho silte (DOYLE<sup>3</sup> et al. 1983 apud MORTON; HALLSWORTH, 1994). Assim, para análise de proveniência, melhores resultados serão encontrados quando houver comparação de minerais de hábito similar. Nessas circunstâncias, a relativa abundância de grãos de minerais pesados com similar tamanho e densidade não será afetado pelas mudanças das condições hidráulicas e será também um bom reflexo das características da área fonte.

---

<sup>3</sup> DOYLE, L.J., CARDER, K.L.; STEWARD, R.G. The hydraulic equivalence of mica. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 53, p. 643-648. 1983

### 3.5 QUANTIFICAÇÃO DA ASSEMBLEIA DE MINERAIS PESADOS, DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES MINERALÓGICOS (ZTR, Est/ZTR e ZTi) E TIPOS MORFOLÓGICOS DE ZIRCÃO E TURMALINA.

Após a montagem das lâminas, os grãos de minerais pesados transparentes foram identificados e quantificados ao microscópio petrográfico de luz transmitida. Os resultados de quantificação da assembleia desses minerais foram utilizados para determinar os índices mineralógicos e os tipos morfológicos de zircão e turmalina. Foram contados ao longo de linhas equidistantemente espaçadas na lâmina 300 grãos/amostra, seguindo o procedimento de “*ribbon counting*” ou linhas transversais, (GALEHOUSE, 1971; MANGE; MAURER, 1992).

Um dos parâmetros analisados foi o índice ZTR, definido primeiramente por Huber (1962) (Tabela 2), como sendo uma importante ferramenta para indicar o grau de maturidade de sedimentos arenosos, tendo como característica a presença de minerais resistente à dissolução química (zircão, turmalina e rutilo). Os minerais índices possuem densidades distintas, ou seja, implica uma variabilidade de comportamento destes durante o transporte sedimentar.

Seguindo este raciocínio, variações no índice ZTR poderiam ser resultantes da alteração pós-deposicional somada ao transporte sedimentar, o que implicaria numa restrição ao seu uso para correlações entre unidades estratigráficas, tendo em vista que o efeito combinado destas variantes poderia dificultar sua interpretação em termos de proveniência sedimentar.

Tabela 2- Classificação do índice ZTR de acordo a porcentagem encontrada.

<b>ÍNDICE ZTR</b>	
<b>0-10%</b>	Superabundância de minerais instáveis
<b>10-40%</b>	Abundância de minerais instáveis
<b>40-60%</b>	Igualdade de minerais instáveis e estáveis
<b>60-90%</b>	Abundância de minerais estáveis
<b>90-100%</b>	superabundância de minerais estáveis

Fonte: Huber (1967)

Para contornar alguns desses problemas, Morton e Hallsworth (1994, 1999) apresentaram parâmetros que comparavam unidades sedimentares por meio da razão entre tipos específicos de minerais pesados. Assim, os índices resultantes seriam obtidos

relacionando-se seus contrastes e não só minerais com características equivalentes, sendo estes, físicos (resistência à abrasão, forma e densidade) e químicos (resistência à dissolução).

Nobrega et al. (2008) utilizaram a razão entre o número de grãos de turmalina multiplicado por 100 e o número de grãos de turmalina + zircão definido como (ZTi). Onde o contraste de densidade entre zircão (4,6 a 4,7 g/cm<sup>3</sup>) e turmalina (2,9 a 3,1 g/cm<sup>3</sup>), torna os grãos de turmalina mais susceptíveis ao transporte em relação aos grãos de zircão, conseqüentemente a unidade fonte será enriquecida em zircão. Assim, 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. Portanto, foi computado o índice ZTi por meio da contagem de 100 grãos dos minerais que compõem o respectivo índice. Já o índice Est/ZTR+Est (MORTON, 1985), foi utilizado para avaliar o efeito do intemperismo nos sedimentos.

Também foi realizado a quantificação de tipos morfológicos de grãos de zircão e turmalina, os quais foram definidos pelo grau de arredondamento, esfericidade, cor, zoneamento, hábito e proporção entre os eixos maior e menor. A proporção entre tipos morfológicos de zircão pode ser interpretada puramente em termos de proveniência sedimentar, já que os efeitos do transporte sedimentar e dissolução pós-deposicional sobre a proporção dos tipos de zircão pode ser considerada insignificante.

A análise das variedades tipológicas de turmalina e zircão é ótima ferramenta no auxílio da interpretação da proveniência, já que exibem uma série de propriedades ópticas distintas (cor, forma e estrutura interna) que, qualitativamente, servem como indicador petrológico (KRYNINE 1946, LIHOU; MANGE-RAJETZKY 1996).

Para a classificação da morfologia utilizou-se procedimentos semelhantes aos de Nascimento e Góes (2005). Desta forma, para a turmalina foram definidos quatro tipos principais de morfologia, sendo correspondentes à Tu1 (fragmentos irregulares, incolor, azul, marrom ou verde), Tu2 (incluindo as variedades subédricas a euédricas de cor marrom), Tu3 (subédricas a euédricas verdes) e Tu4 (incluindo as formas arredondadas a bem arredondadas de todas as cores).

O zircão apresentou uma maior complexidade em relação às formas dominantes, em virtude disso, forma classificados em Zr1 (irregular zonado ou não zonado, incolor), Zr2 (irregular zonado ou não zonado, vermelho), Zr3 (subédrico a euédrico não zonado, vermelho com prisma curto), Zr4 subédrico a euédricos não zonado, incolor com prisma curto), Zr5 (subédrico a euédrico zonado ou não zonado, marrom ou vermelho com prisma longo), Zr6 (subédrico a euédrico zonado, incolor com prisma curto), Zr7 (subédrico a

euédrico não zonado, marrom com prisma curto), Zr8 (subédrico a euédrico zonado, marrom com prisma curto) e Zr9 (arredondado de todas as cores). As categorias de comprimento do prisma foram definidas pela razão entre os eixos cristalográficos  $a$  e  $c$ : prisma curto ( $c/a < 3$ ) e prisma longo ( $c/a > 3$ ).

### 3.6 ASPECTOS DESCRITIVOS

As descrições das texturas superficiais foram realizadas tomando como base as definições utilizadas por Andò et al. (2012) que propôs uma classificação prática para caracterização dessas texturas. O foco de seu estudo foram os minerais pesados encontrados em rios modernos na África equatorial. O autor classificou em cinco estágios as condições da intensidade e densidade das texturas observadas, denominando-as de (***unweathered***- não intemperizado, ***corroded***- corroído, ***etched***- material produto de uma corrosão causada por ácido, ***deep etched***- tendo a mesma explicação que a anterior, só que com maior intensidade e ***skeletal***- esquelético).

#### *Unweathered* (U)

Corresponde ao grão que preserva sua forma original, ou seja, com ausência de corrosões sob sua superfície, podendo apresentar algumas marcas angulares causadas por ruptura mecânica.

#### *Corroded* (C)

A superfície original do grão ainda é reconhecível, no entanto, feições de corrosão já se fazem presente, tais como cavidades geradas pelo ataque químico que resultam na dissolução de parte da superfície do grão, proporcionando o aumento da intensidade dessa corrosão. Neste sentido as cavidades tornam-se cada vez mais profundas, produzindo terminações irregulares (*ragged terminations*).

#### *Etched* (E)

A superfície do grão ainda pode ser reconhecida, mas texturas como as bordas serrilhadas surgem inicialmente nas extremidades de cristais prismáticos, depois em direções cristalográficas preferenciais (por exemplo, o eixo  $c$  em piroxênios e anfibólios). O processo inicia com dentículos isolados que evoluem lateralmente, fato que afeta parte significativa do grão e modifica sua forma original tornando-o aproximadamente losangular.

#### *Deep Ethed* (D)

Ocorre a progressão para toda a borda do grão. Sua superfície está irreconhecível sendo notável o aumento e profundidade dessas texturas em relação ao estágio anterior. Texturas como as “janelas” (*bays*) tornam-se mais angulares e evidentes.

### *Skeletal (K)*

Nesse estágio a forma do grão já foi completamente transformada, surgindo desde pequenos “sulcos” (*furrow*) até “superfícies perfuradas” (*holes*) que atravessam o mineral, além disso, as *bays* tornam-se bem mais desenvolvidas e profundas.

A ordem de apresentação dos diferentes minerais segue o estabelecido por Morton e Hallsworth (2007).

## 3.7 PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

### 3.7.1 **Curtose**

A curtose reflete o grau de “achatamento” da distribuição granulométrica em comparação a curva de distribuição normal (curva em sino). Do ponto de vista geológico (FOLK; WARD, 1957), a análise da variação da curtose permitiria a determinação do grau de mistura de diferentes populações dentro de um mesmo ambiente sedimentar.

Barros et al. (2008) qualifica a curtose como sendo uma ferramenta que pode ser utilizada como parâmetro para diferenciação de ambientes, sugerindo que existe um processo agindo no sentido de alterar as caudas de distribuição. Os autores mediram o grau de agudez dos picos nas curvas de distribuição de frequência e identificaram que as distribuições leptocúrticas representam sedimentos unimodais, ou seja, bem selecionado na parte central da distribuição, representando um ambiente de maior movimento. Enquanto as distribuições platicúrticas correspondem a sedimentos bimodais ou polimodais, que indicariam uma baixa movimentação.

### 3.7.2 **Assimetria**

O grau de assimetria de um sedimento é indicado pelo afastamento do diâmetro médio da mediana (SUGUIO, 1973). Em uma distribuição simétrica, o diâmetro médio e a mediana coincidem, portanto não há assimetria. A assimetria é controlada principalmente pelo processo deposicional do que por condições de transporte. Barros et al. (2008) consideram que os valores de assimetria são representados como negativos quando verifica-se um desvio tendente para o material mais grosso, e positivo quando há excesso de partículas finas.

## 4 ASPECTOS GEOLÓGICOS

### 4.1 PROVÍNCIAS GEOCRONOLÓGICAS DO CRÁTON AMAZÔNICO EMBASAMENTO DA BACIA DO AMAZONAS

Constitui uma das maiores áreas cratônicas do mundo, ocorrendo na porção norte da América do Sul, o Cráton Amazônico abrange uma superfície de aproximadamente 4.300.000 Km<sup>2</sup>. É dividido em dois escudos, o do Guaporé e das Guianas, separados pelas rochas sedimentares da Bacia paleozóica do Amazonas (TASSINARI; MACAMBIRA, 2004). O cráton Amazônico é representado por uma placa litosférica continental constituída de um expressivo núcleo arqueano bordejado por faixas orogênicas paleo a mesoproterozóicas, estabilizado a cerca de (1,0 Ga), (SCHOBENHAUS; BRITO NEVES, 2003).

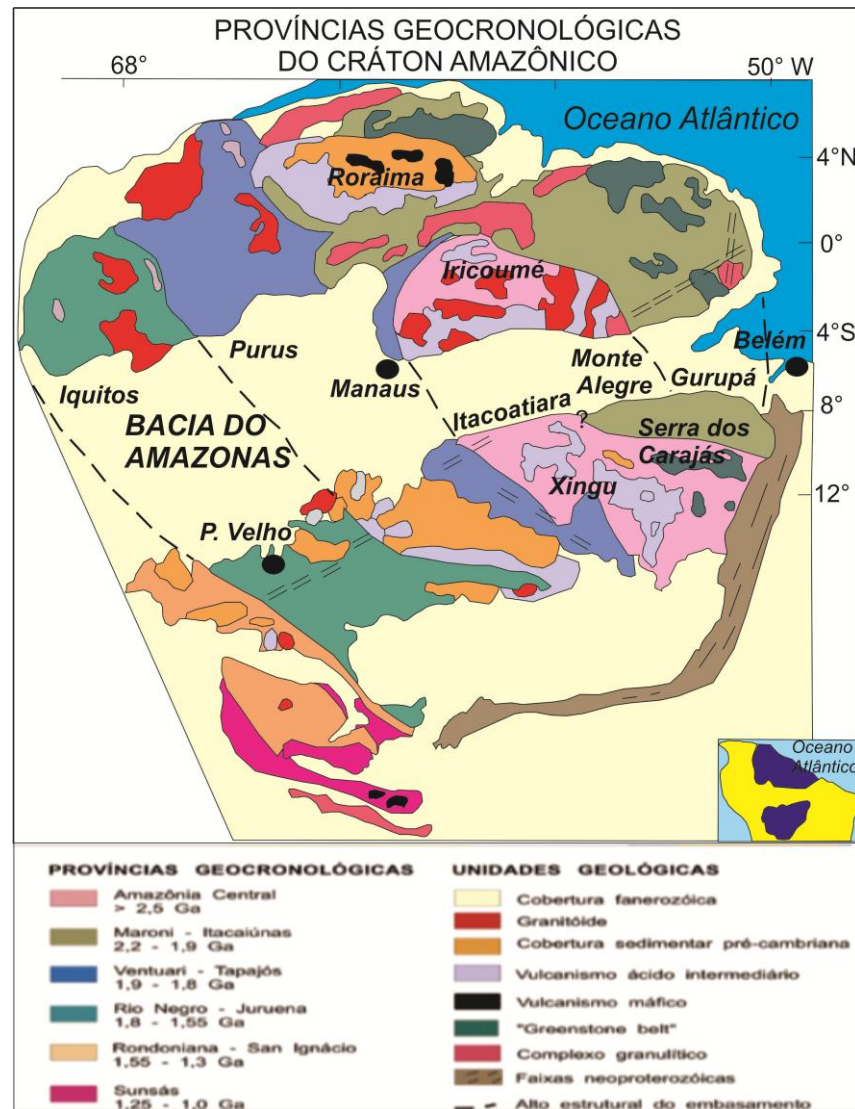
O constante avanço do conhecimento geológico paralelo ao aumento de dados geocronológicos e isotópicos no Cráton Amazônico viabilizou a definição das províncias geocronológicas, conceituadas como sendo grandes zonas dentro das áreas cratônicas, onde predomina um determinado padrão geocronológico, da qual, este TCC irá enfatizar os de Tassinari e Macambira (1999) e Santos et al. (2000).

Segundo Tassinari et al. (1999), o Cráton Amazônico pode ser dividido em seis províncias geocronológicas (Figura 3): Província Amazônia Central (2,5 Ga); Província Maroni-Itacaiúnas (2,25-2,0 Ga); Província Ventuari-Tapajós (1,95-1,8 Ga); Província Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga); Província Rondoniana- San Ignácio (1,55-1,3 Ga) e Província Sunsás (1,3-1,0 Ga). Este trabalho abordará somente as três primeiras, as quais abrangem o trecho estudado ao longo do rio Amazonas.

#### 4.1.1 Província Amazônia Central

A Província Amazônia Central (2,5 Ga) (TASSINARI; MACAMBIRA,1999) é considerada a crosta continental mais antiga do Cráton Amazônico não afetada pela orogenia Transamazônica. Entretanto, durante o Paleoproterozóico foi cenário de expressivos eventos magmáticos como o Uatumã. Predominantemente expõe litologias como rochas vulcânicas félsicas e granitóides, além das coberturas sedimentares paleoproterozóicas. Dall' Agnol et al. (1999) dividiram a província em dois domínios principais, chamados de Blocos Carajás, considerado como sendo a província mineral mais importante do Brasil e uma das mais estudadas da Amazônia e Xingú-Iricoumé, que contrariamente ao bloco Carajás é uma das menos conhecidas geologicamente do Cráton.

**Figura 3-** Distribuição das províncias geocronológicas do Cráton Amazônico



Fonte: Tassinari e Macambira (1999).

#### 4.1.2 Província Maroni-Itacaiúnas

A Província Maroni-Itacaiúnas distribui-se em uma larga faixa que engloba as porções norte-nordeste do Cráton Amazônico contornando a Província Amazônia Central. Sua evolução principal ocorreu no intervalo entre 2,2 a 1,95 Ga, relacionada às orogêneses do Ciclo Transamazônico, consistindo de domínios de crosta juvenil paleoproterozóica e de blocos arqueanos retrabalhados no Paleoproterozóico. Nela dominam rochas metavulcânicas e metassedimentares, as quais foram deformadas e metamorfizadas nas fácies xisto-verde a anfíbolito, bem como terrenos gnáissico-migmatíticos e granulíticos (TASSINARI; MACAMBIRA, 1999, 2004).

#### 4.1.3 Província Ventuari-Tapajós

A Província Ventuari-Tapajós trunca o segmento NE-SW do cinturão Maroni-Itacaiúnas e limita-se também com a parte ocidental da Província Amazônia Central, estendendo-se desde o sul da Venezuela até a região do rio Tapajós. Seus limites geográficos com essas províncias não estão claramente definidos por falta de estudos detalhados nessas áreas.

Geologicamente, essa província contrasta fortemente com a Maroni-Itacaiúnas, que possui predomínio de granulitos e rochas metavulcano-sedimentares. Na Província Ventuari-Tapajós predominam granitos gnáissicos de composição quartzo-diorítica a granodiorítica, formados entre 1,95 e 1,8 Ga, a partir de processos de diferenciação mantélica ocorridos, caracterizando a atuação de um arco magmático (TASSINARI; MACAMBIRA, 2004).

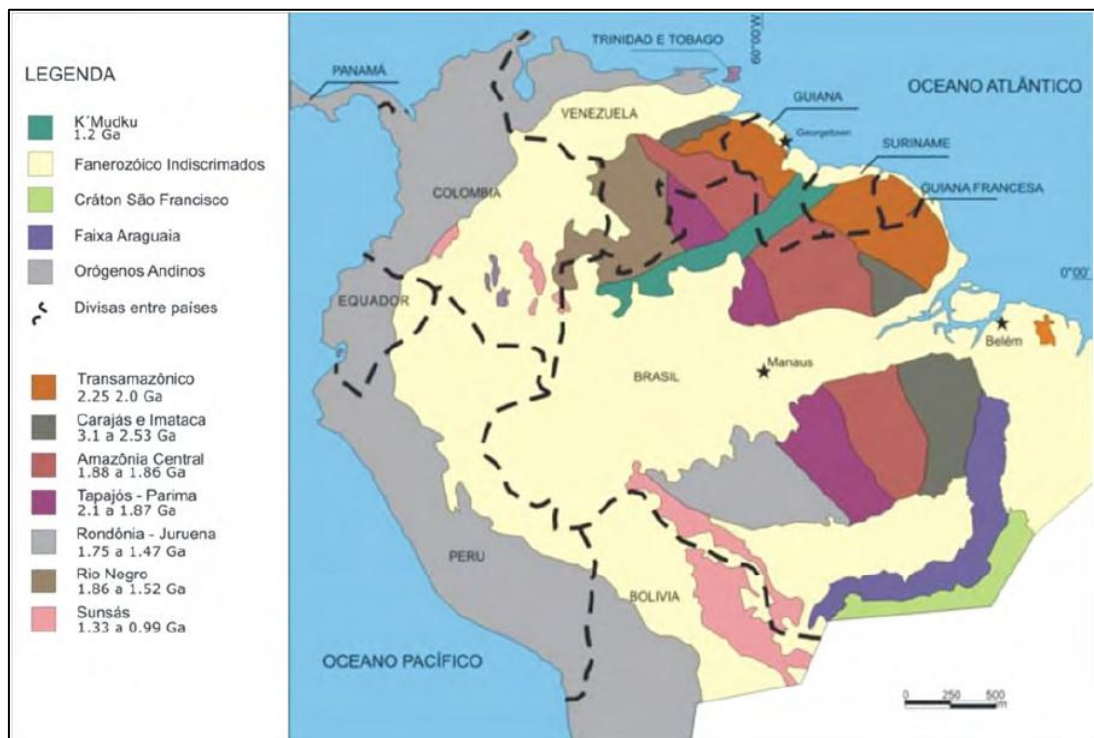
#### 4.1.4 Modelo De Santos et al. (2000)

Para Santos et al. (2000), o cráton pode ser subdividido em 7 províncias geocronológicas (Figura 4): Carajás e Imataca (3,1-2,53 Ga), Transamazônico (2,25-2,0 Ga), Tapajós-Parima (2,1-1,87 Ga), Amazônia Central (1,88-1,86 Ga), Rio Negro (1,86-1,52 Ga), Rondônia-Juruena (1,75-1,47 Ga) e Sunsás (1,33-0,99 Ga). Estes autores basearam-se principalmente em datações geocronológicas, considerando dados estruturais e geológicos, deste modo as unidades vulcânicas estariam distribuídas nas províncias Tapajós-Parima e Amazônia Central, interpretadas como formadas em orogenias do tipo oceano-continente.

O evento magmático Uatumã, representado por unidades de rochas vulcânicas e vulcanoclásticas cálcioalcalinas ácidas a intermediárias, possui idade *sensu lato* de 1,88 Ga (JULIANI et al., 2006).

O modelo de Santos *et al.* (2000) difere dos outros dois, essencialmente nos limites das províncias geocronológicas e dos intervalos temporais das orogenias.

**Figura 4-** Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico.



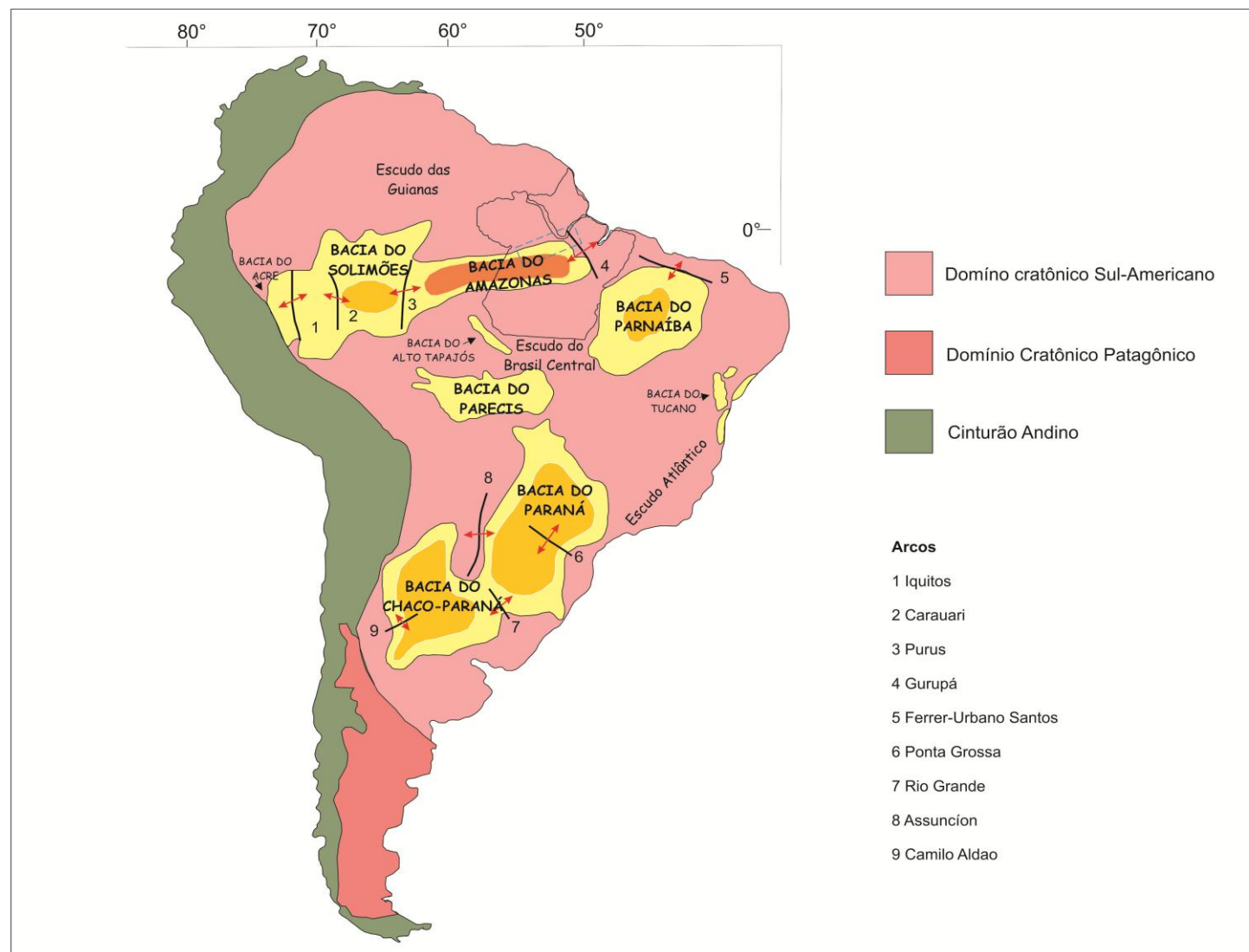
Fonte: Santos et al. (2000).

## 4.2 BACIA DO AMAZONAS

Instalada sobre as rochas do Cráton Amazônico, abrange parte dos estados do Amazonas e Pará, porção setentrional do Brasil, com área de aproximadamente 500.000 Km<sup>2</sup>, (CUNHA et al., 1994) (Figura-5). A Bacia Amazônica compreende as anteriormente denominadas Bacias do Médio e Baixo Amazonas por Caputo (1984), limitada a leste pelo Arco de Purus que a separa da Bacia do Solimões e a oeste pelo Arco do Gurupá que a limita da Bacia do Marajó. Suas rochas sedimentares dividem o Cráton Amazônico em dois escudos, a sul Brasil Central e a norte os das Guianas. É preenchida por rochas fanerozóicas de espessura de 5.000 m aproximadamente (COSTA, 2002).

Um dos modelos propostos para instalação da Bacia do Amazonas relaciona a geração de falhas e material vulcânico no intervalo Éon Neoproterozóico/Cambriano a processos de rifteamento com preenchimento posterior de sedimentos flúvio-lacustre (ALMEIDA et al. 2000, CUNHA et al. 1994; ZALÁN 2004). Outra proposta sugere que sua origem da bacia estaria relacionada à Orogênese Brasileira, atuante na Faixa de Dobramentos Paraguai-Araguaia (CAPUTO 1984, BRITO-NEVES, 1999). Estes autores consideraram a existência de esforços compressivos de direção E-W, que reativaram estruturas pré-cambrianas, além de

**Figura 5-** Bacias intracratônicas brasileiras e sua relação com os principais arcos encontrados.

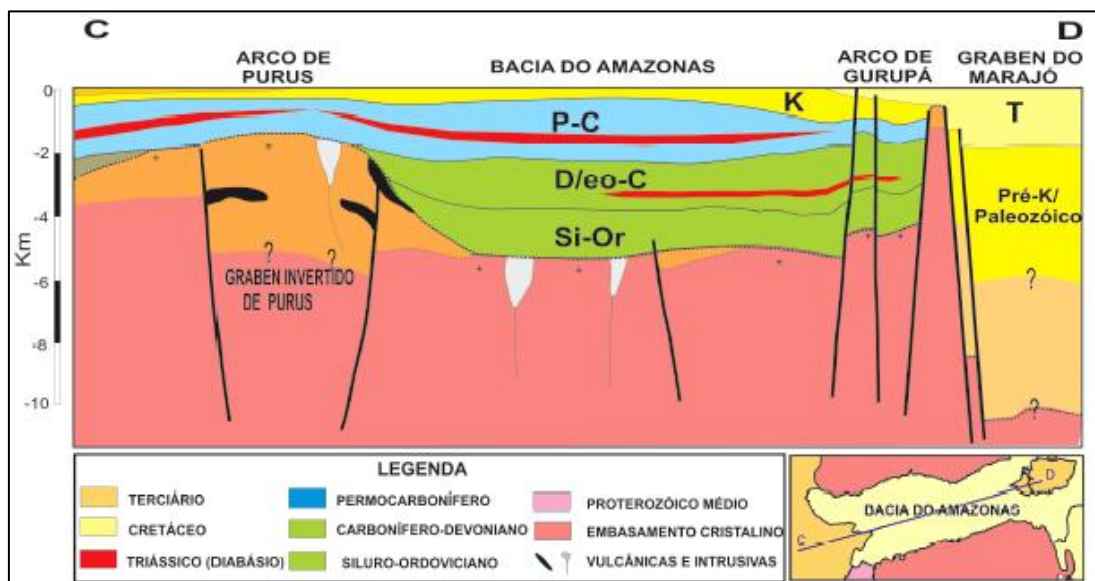


Fonte: Souza-Lima (2005).

alívio na direção N-S, iniciando um *rift*, com posterior perda de calor de massas plutônicas após esforços distensionais, que culminou com uma subsidência regional.

O Arco de Purus influenciou na deposição das primeiras unidades paleozóicas (Grupo Trombetas) da Bacia do Amazonas, pois impedia a conexão dos sedimentos com a Bacia do Solimões, depositadas em *onlap* sobre o arco (Figura 6) (CUNHA et al., 1994). A deposição neste estágio ocorria em ambiente glacial alternado com marinho, além das ingressões de sedimentos de leste para oeste, ultrapassando o Arco de Gurupá, que possui unidades correlacionáveis as rochas das bacias do nordeste africano.

**Figura 6-** Seção geológica regional da Bacia do Amazonas



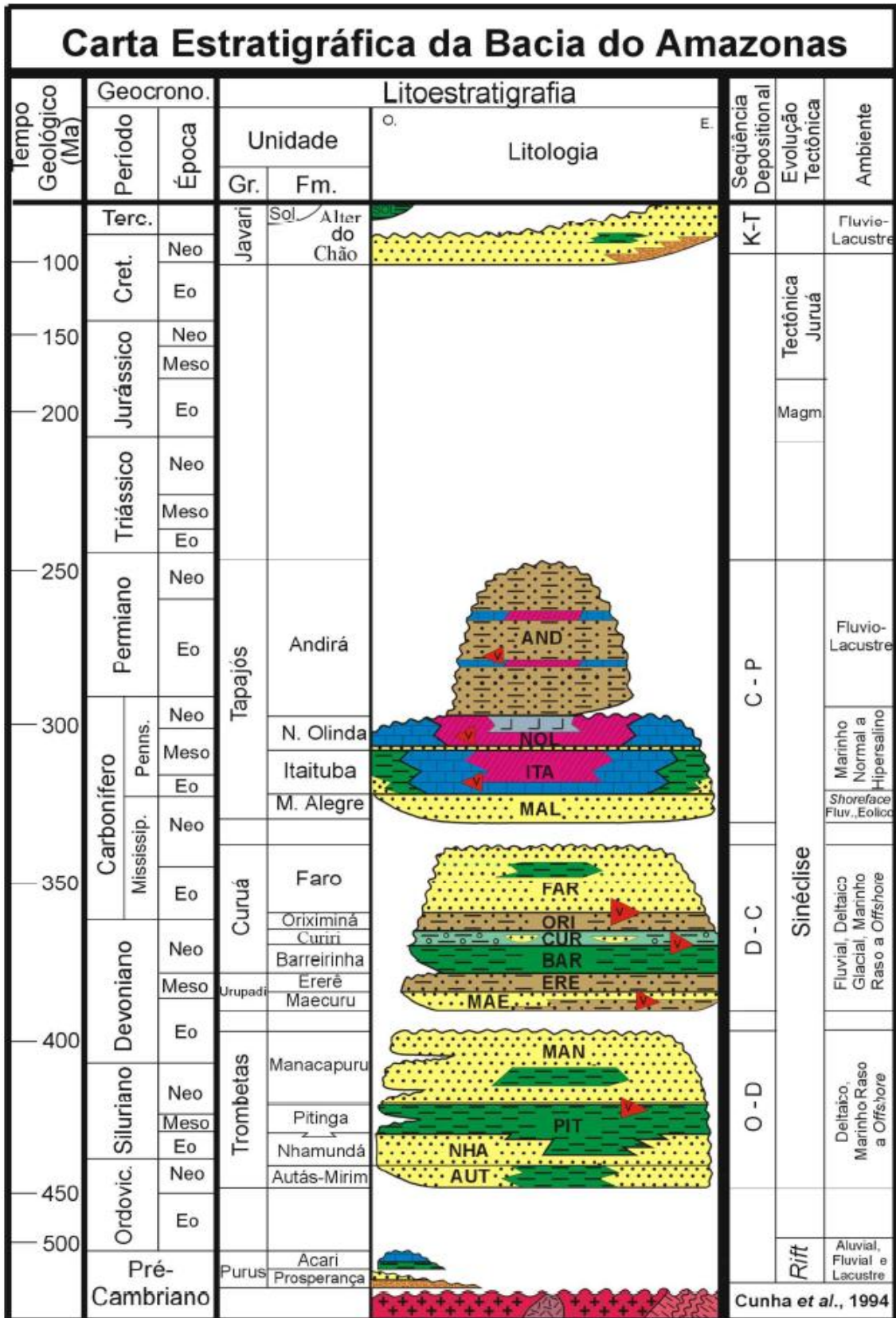
Fonte: Wanderley Filho et al. (2005).

#### 4.2.1 Preenchimento Sedimentar

O início da deposição na bacia (unidades paleozóicas) ocorreu em ambientes continentais e marinhos, sendo marcado por uma tectônica calma e ausência de magmatismo (ALMEIDA et al. 2000). Com base na coluna estratigráfica proposta por Cunha et al. (1994) (Figura 7), os grupos paleozóicos foram classificados em *Grupo Trombetas*, composto pelas formações Autás-Mirim (arenitos e folhelhos neríticos neo-ordovicianos), Nhamundá (arenito neríticos e depósitos glaciogênicos), Pitinga (folhelhos e diamictitos marinhos) e Manacapuru (arenitos, pelitos neríticos e litorâneos).

No *Grupo Urupadi* ocorrem as formações Maecuru (arenitos e pelitos neríticos deltaicos) e Ererê (siltitos, folhelhos, arenitos neríticos e deltaicos). O *Grupo Curuá* é constituído pelas formações Barreirinha (folhelho negro), Curiri (diamictitos, folhelhos e

Figura 7- Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas.



Fonte: Cunha et al. (1994).

siltitos de ambientes glaciais), Oriximiná (arenitos e pelitos fluviais regressivos) e Faro (arenitos flúvio-deltaicos).

Já o *Grupo Tapajós* é constituído pelas formações Monte Alegre (arenitos eólicos intercalados com siltitos, folhelhos interdunas e lagos de ambiente desértico gradando para marinho raso), Itaituba e Nova Olinda (calcários de inframaré e evaporitos do tipo planície de *sabkha*), por fim a Formação Andirá apresenta litologias como (siltitos, arenitos e folhelhos avermelhados).

Segundo Zalán (2004), a colisão final dos continentes Gondwana e Eurásia (Orogenia Herciniana) no Neopermiano-Eotriássico, afetou a Bacia do Amazonas, gerando esforços de direção N-S que podem também ter afetado o Escudo das Guianas. Após a deposição paleozóica e a orogenia que originou o Pangeia houve a ruptura da placa durante o Neotriássico ao Eojurássico, sendo caracterizado por esforços distensionais E-W. Este cenário resultou na formação de estruturas N-S, preenchidas por vulcanismo básico, na forma de diques e soleiras associados, afetando sedimentos paleozoicos (CUNHA et al. 1994; ZALÁN, 2004).

Posteriormente ao evento distensivo, a região NW da placa sul americana foi submetida a esforços compressivos, cuja origem está relacionada, ao início da convergência da placa do Oceano Pacífico com a placa Sul Americana (CAPUTO, 1984). O relaxamento dos esforços compressivos criou sítios deposicionais que acomodaram as unidades Cretácea e Cenozóica da Bacia do Amazonas, representada pelo *Grupo Javari* (CUNHA et al. 1994). Este grupo corresponde a Formação Alter do Chão (arenitos e pelitos avermelhados bioturbados) e a Formação Solimões (pelitos com restos de conchas, moluscos e vegetais). A intensificação da Orogenia Andina após o início da subducção da Placa do Caribe sob a Sul-Americana gerou uma compressão de direção E-W que causou soerguimento da cordilheira, intensa erosão e consequente inversão da drenagem dos Andes para o Atlântico (PINDELL; TABBUT 1995).

#### 4.3 O RIO AMAZONAS

O Rio Amazonas pode ser considerado como bem adequado para o estudo de proveniência sedimentar moderna (MAPES, 2009). A Amazônia ocupa a maior bacia de drenagem na Terra, aproximadamente  $6 \times 10^6 \text{ km}^2$  (ARCHER, 2005) e oferece mais  $6,3 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{ano}$  de sedimentos em suspensão para o Oceano Atlântico (MEADE, 1996). Possui mais de 6.500 km de comprimento (Figura 8) e ocupa o segundo lugar a nível mundial (SIOLI, 1984).

As condições de intemperismo na bacia amazônica mudam de predominantemente físico nas altas montanhas dos Andes para predominantemente químico no decorrer do rio. Geologicamente, o perfil da drenagem Amazônica é o mais adequado dentre os grandes rios na Terra para testar a confiabilidade e técnicas de proveniência sedimentar (MAPES, 2009). A borda ocidental da bacia expõe o embasamento Fanerozóico composto predominantemente por rochas ígneas e metamórficas, enquanto porção central e oriental do rio expõem o embasamento de idade pré-cambriana levando a assinaturas de proveniência distintas que são relacionáveis com a geografia.

**Figura 8-** Mapa da bacia hidrográfica do Rio Amazonas, a linha tracejada estabelece os limites físicos dessa bacia e sua relação com outras, como por exemplo, a bacia de Orinoco.



Fonte: Nogueira 2008

A Amazônia pode ser assim representada: como um sistema de dois componentes de proveniência, com rochas de origem recentes restritas a cabeceiras e uma dominada por exposições de embasamento pré-cambriano, (MAPES, 2009).

## 5 OS SEDIMENTOS ARENOSOS DA CALHA DO RIO AMAZONAS

Os sedimentos coletados exibiram significativa variabilidade de cores (Figura 9), tornando-se evidente o destaque das três primeiras amostras em relação às demais, tanto em termos relacionados à granulometria como também a diversidade de minerais.

O quartzo é predominante e influi diretamente na coloração, a qual apresenta-se em variações de tons mais claros, a partir delas há um amplo domínio de colorações mais escuras, com exceção das amostras (8, 10 e 17), cujas partículas são do tamanho areia média e correspondem às regiões de Prainha, proximidades de Almeirim e proximidades de Macapá.

### 5.1 BARRAS ARENOSAS RECENTES

O período de coleta das amostras coincidiu com o início das chuvas na região amazônica (janeiro) 2010, sendo que a morfologia dos sedimentos expostos ao longo das barras estudadas mostrou predominância de partículas menores que 0,2 mm, como será indicado no (item 5.2).

As principais estruturas encontradas foram *Sandwaves*, dunas barcanas, marcas onduladas, bem como laminações cruzadas. A coalescência de *sandwaves* compõe a barra arenosa de médio porte descrita na (Figura 10 A) região de Cururu-Alter do Chão, onde são encontradas *wind ripples* (Figuras 10 B e C).

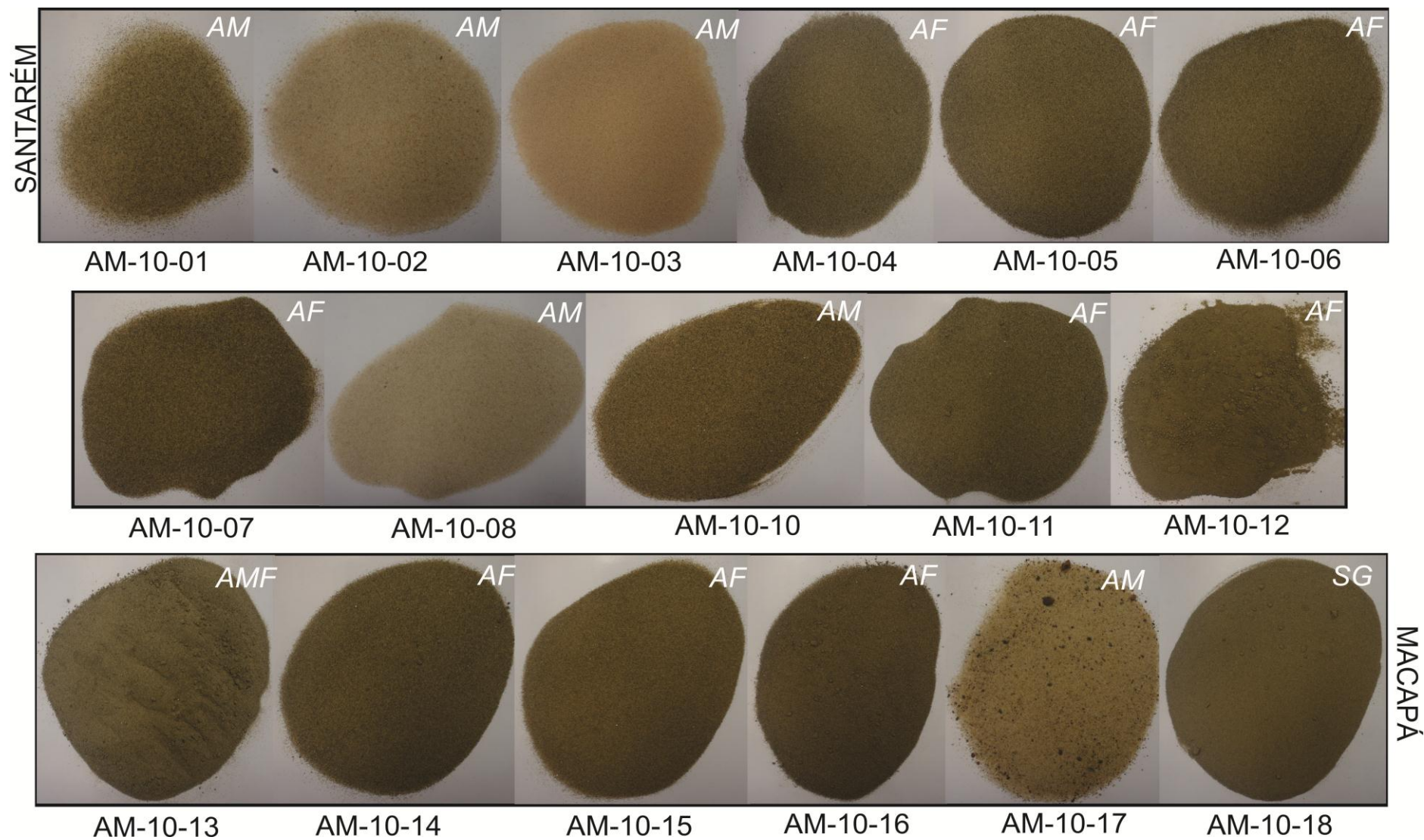
Marcas onduladas são definidas por Suguio (1980), como sendo ondulações que se desenvolvem nas superfícies de areias finas, as quais foram depositadas sob condições hidrodinâmicas de regime de fluxo inferior. Sorby (1859<sup>4</sup> apud SUGUIO, 1980) reconheceu que a migração lateral dessas formas gerariam laminações cruzadas. As laminações cruzadas de marcas onduladas são as feições mais frequentes em sedimentos fluviais, particularmente nas planícies de inundação. Nas barras estudadas, foram descritas marcas onduladas assimétricas de crista levemente sinuosa com ou sem recobrimento de argila (Figura 11 A e D) respectivamente. Já as laminações cruzadas foram encontradas próximas ao leito do rio, (Figura 12 C e D), geradas pelo processo descrito acima.

As dunas barcanas apresentam-se na forma de meia-lua, com a face convexa orientada para o sentido do vento dominante (Figura 12 A). Consideradas por Bagnold (1941), como feições deposicionais e coalescentes que possuem apenas uma face de deslizamento disposta a sotavento (*leeward*). Durante a migração de dunas barcanas pode haver mudanças no regime

---

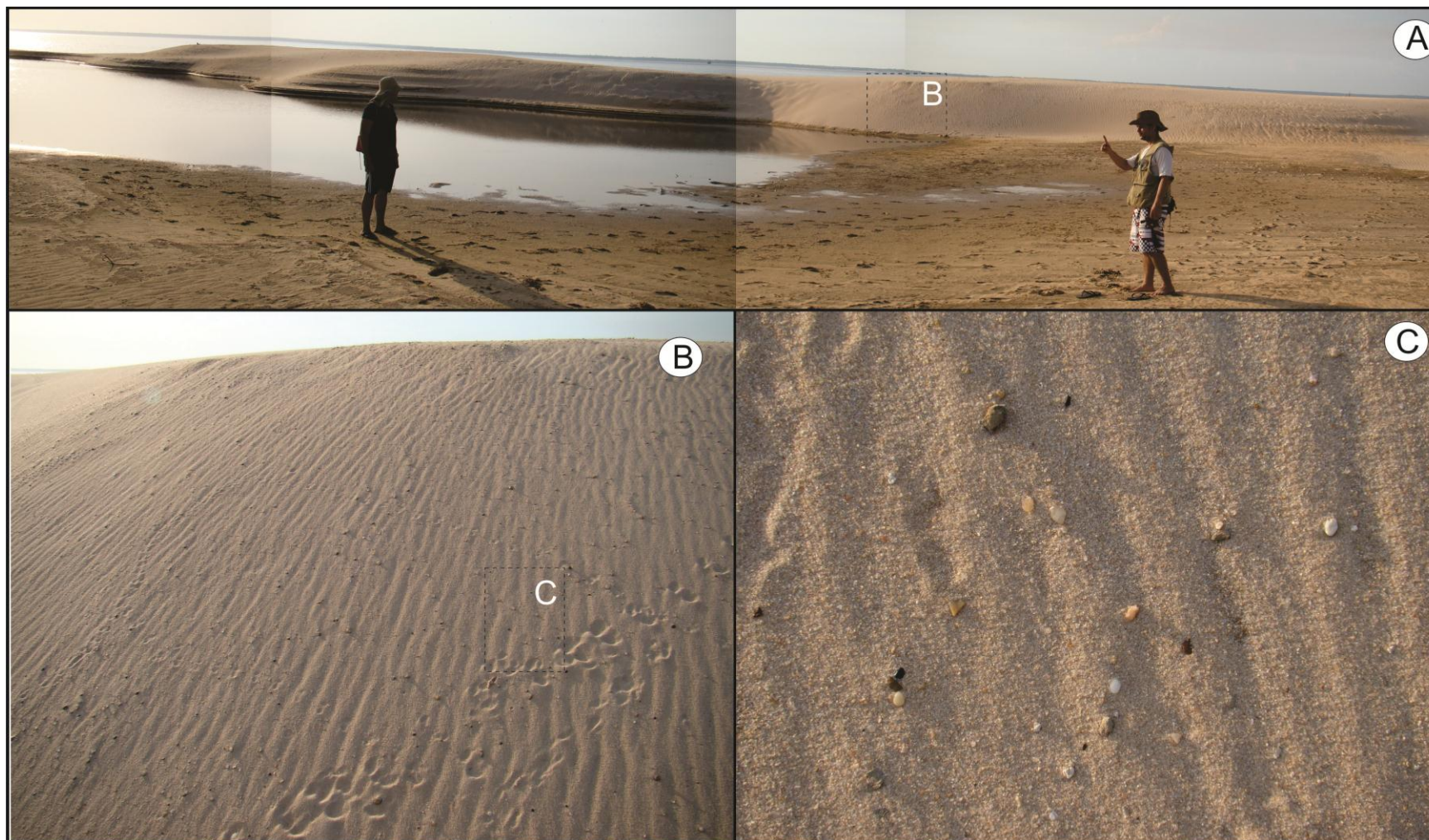
<sup>4</sup> SORBY, H. C. 1859, On the structures produced by the currents during the deposition of stratified rocks, *Geologist*, II, 137–147. (Reprinted In *Sorby on Sedimentology, 1976: A Collection of Papers From 1851 to 1908 by Henry Clifton Sorby*, edited by SUMMERSON, C.H., p. 26–33, Compar. Sediment. Lab., Univ. of Miami, Miami, Fla.)

**Figura 9-** Variação de granulometria e coloração dos sedimentos coletados, com suas respectivas nomenclaturas, ao longo da área de estudo.



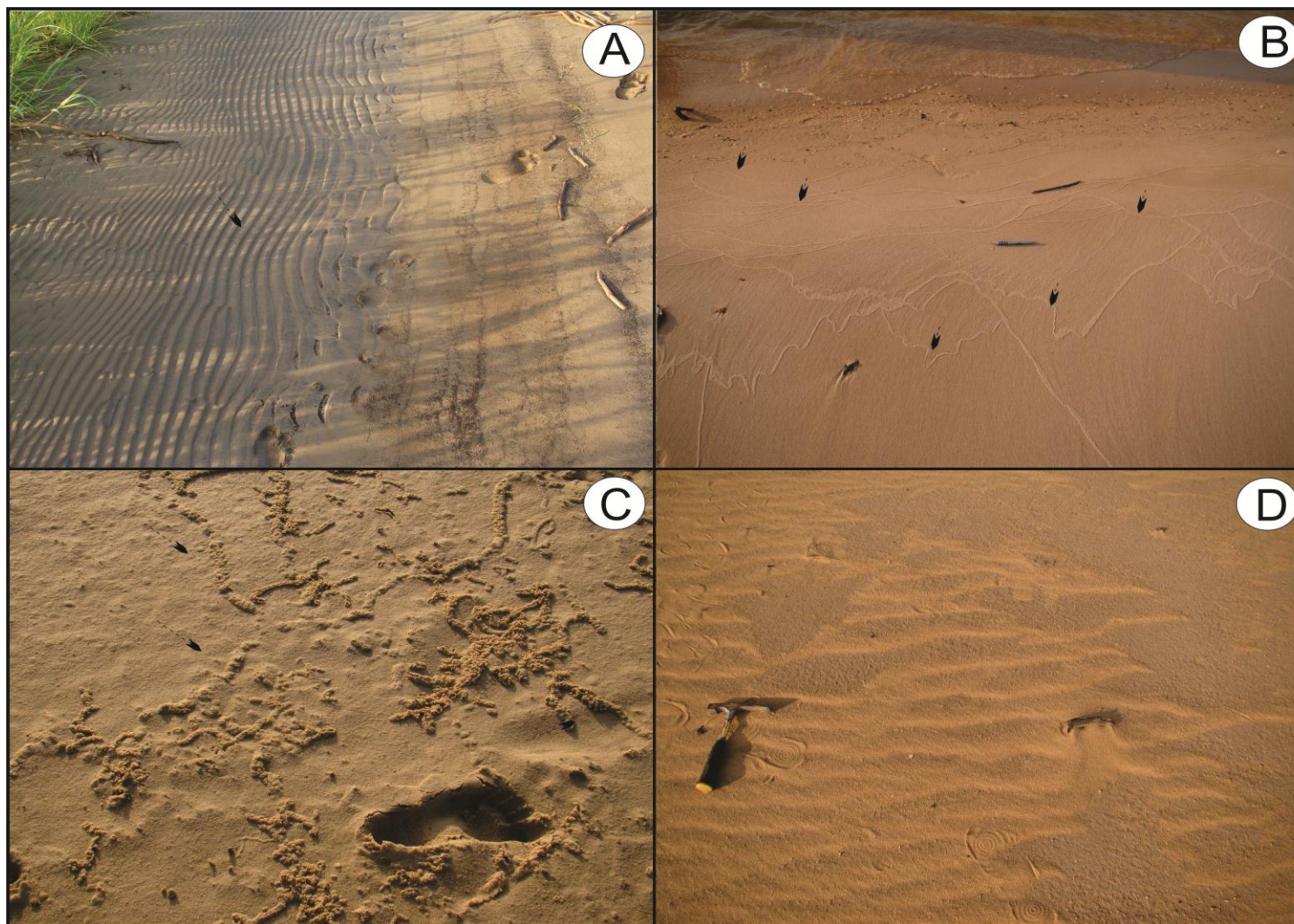
Fonte: Do autor.

**Figura 10-** Ponta do Cururu, Alter do Chão, A) Barra arenosa composta pela coalescência de uma *sandwave* com *wind ripples*; B) destaque para marcas onduladas parasíticas e em C) detalhe da granulometria e disposição desses grãos dentro da estrutura.



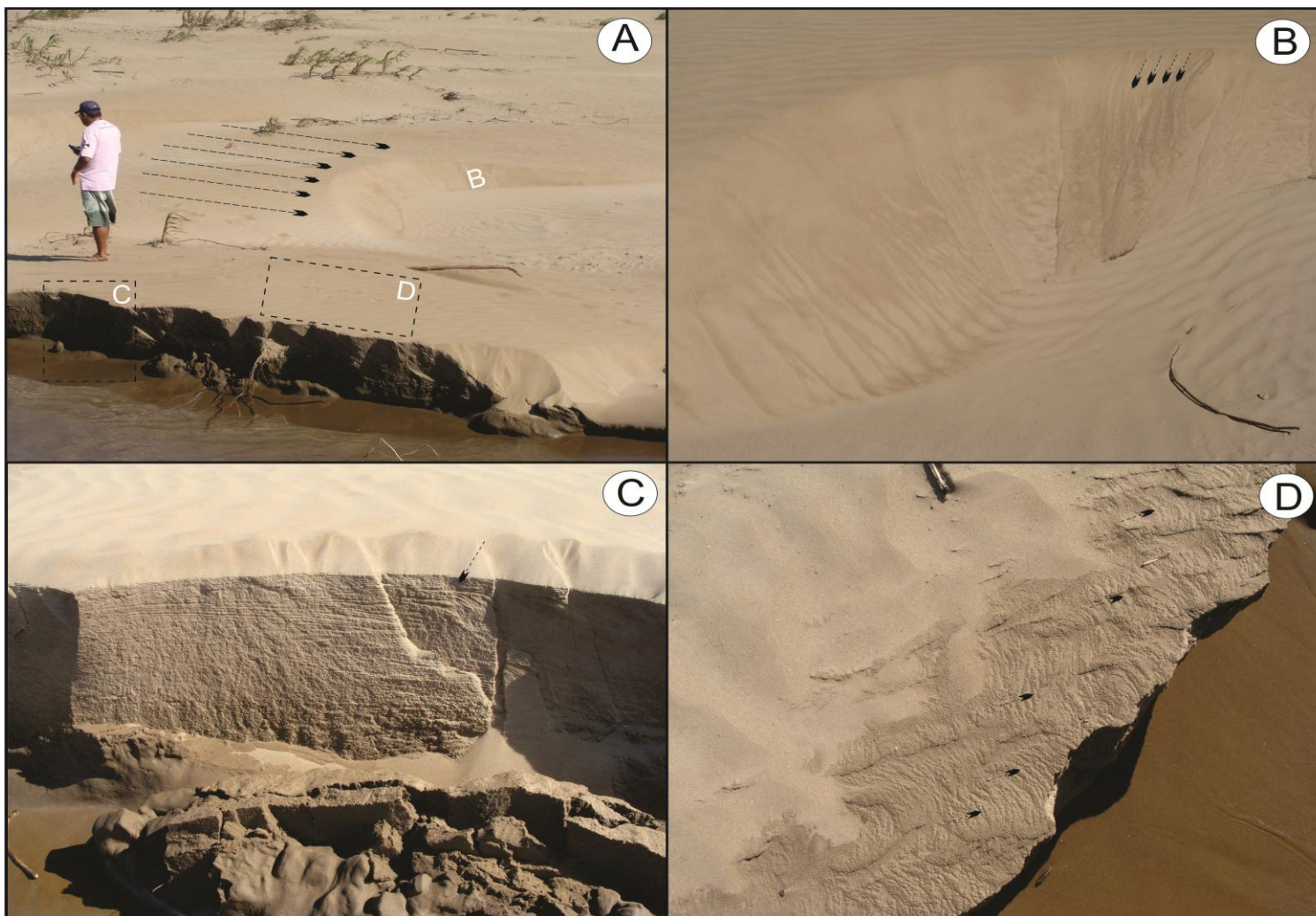
Fonte: Do autor

**Figura 11-** A) marcas onduladas simétricas de crista levemente sinuosa; B) marcas de deixa no topo da barra C) bioturbações recentes; e D) marcas onduladas assimétricas de crista levemente sinuosa com recobrimento argiloso, ocorrido durante as águas baixas.



Fonte: Do autor.

**Figura 12-** Região de Prainha, A) visão geral de uma duna barcana, com outras estruturas circunvizinhas, as setas indicam a direção do vento; B) as setas evidenciam a queda de grãos; C) laminação cruzada próximo ao leito do rio Amazonas e D) laminação cruzada (em planta), as setas são indicativas das estruturas citadas.

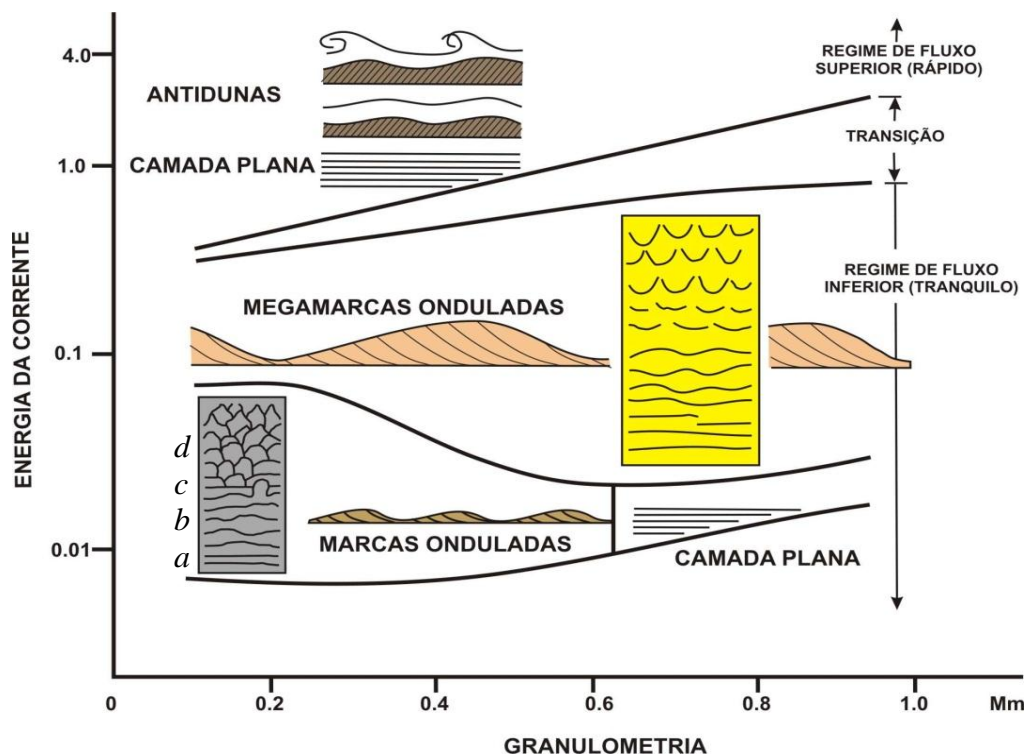


Fonte: Do autor.

de fluxo, variando para um regime influenciado principalmente pelo fluxo unidirecional fluvial, bem como por correntes subordinadas de maré. A partir dessas informações foram descritas dunas barcanas que sofreram retrabalhamento eólico, onde se pode observar em alguns momentos, a desestabilização dessas após atingirem um ponto crítico, resultando numa queda de grãos (Figura 12 B).

O entendimento sobre o processo de transporte e deposição de sedimentos clásticos está ligado as correntes de tração (SUGUIO, 1980). Baseando-se nas estruturas descritas, sugere-se que houve uma predominância do regime de fluxo inferior ou subcrítico (Figura 13), onde com o aumento da velocidade atinge-se um valor no qual o transporte de material do leito gera macroondulações, também denominadas de dunas subaquáticas.

**Figura 13-** Diferentes formas de leito em fundos incoesivos e suas relações com a granulometria para diferentes regimes de fluxo. Tanto em microondulações como em macroondulações (dunas), as cristas das marcas onduladas tendem a se tornar descontínuas com o aumento da energia do fluxo (*a* = cristas retilíneas; *b* = cristas ondulatórias; *c* = cristas linguóides; e *d* = cristas em meia lua).

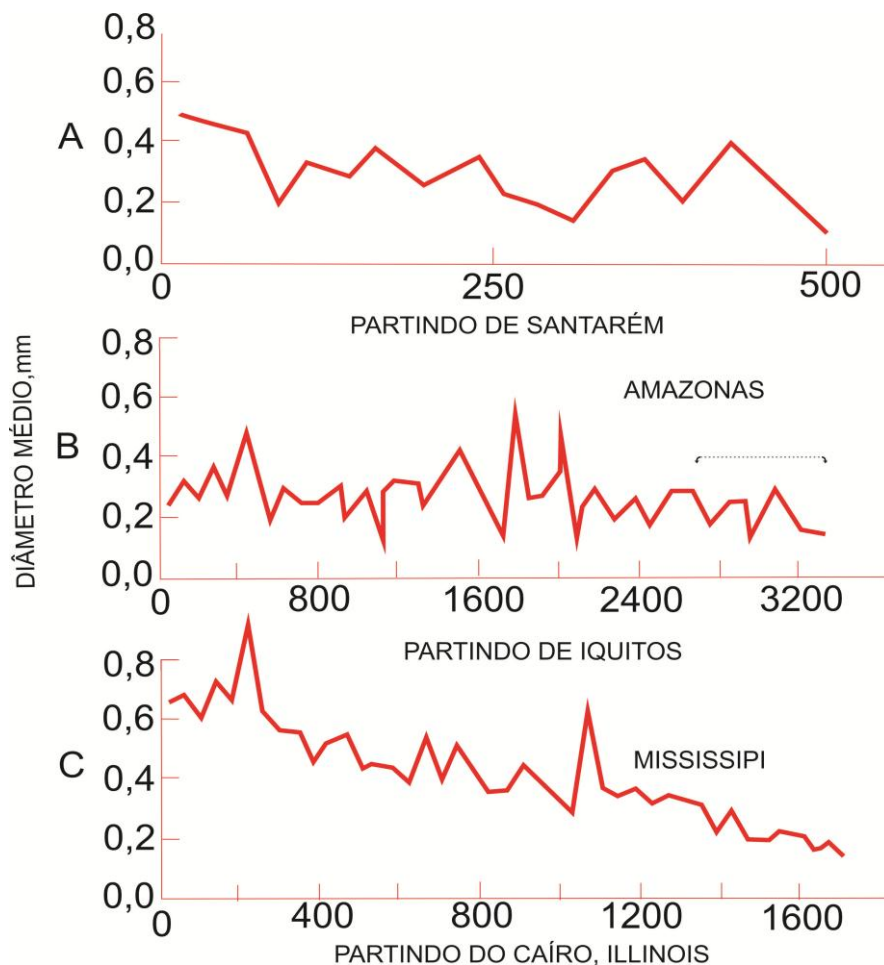


Fonte Suguio, (1980).

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO TEXTURAL

Para a caracterização textural dos sedimentos recentes da calha do rio Amazonas utilizou-se a curtose e assimetria, além do diâmetro médio dos grãos que foi comparado aos encontrados por Nordin et al. (1981) que analisou cerca de 1977 amostras ao longo do rio Amazonas desde Iquitos (Peru) até Macapá (Brasil) percorrendo aproximadamente 3.500 km. A área analisada neste TCC (Figura 14 A) corresponderia aos 500 Km finais da área de trabalho desses autores. Em virtude disso uma comparação de dados da distribuição espacial desses sedimentos, além da comparação destes com as partículas do rio Mississipi é apresentado na (Figura 14), e reitera o predomínio das partículas de tamanho areia fina.

**Figura 14-** Comparação entre os diâmetros médios das partículas dos rios Mississipi e Amazonas, A) partindo de Santarém (PA) diminuição do tamanho médio das partículas até Macapá (AP); B) iniciando em Iquitos até a foz do rio Amazonas, oscilação do tamanho médio, sem evidências de uma redução do tamanho das partículas e C) Padrão dos grandes cursos d'água aluviais, partículas menores e mas homogêneas em direção à foz, como exemplo o rio Mississipi.



Fonte: Nordin et al. (1981).

A respeito da maneira como ocorre à distribuição granulométrica Suguio (1980), relata que a mesma deve ter maior influência do fator hidráulico que da ação abrasiva, além do mais a granulometria presente geralmente é herdada da rocha matriz ou é um provável produto de desintegração, não sendo resultante de processos e agentes sedimentares.

### 5.2.1 Curtose

De acordo com as amostras analisadas, verificou-se a predominância de distribuições leptocúrticas a extremamente leptocúrticas 42%, mesocúrticos com 41%, enquanto as platicúrticas a muito platicúrticas representam apenas 17% do total (Figura 15).

### 5.2.2 Assimetria

De acordo com os dados obtidos, observa-se que o grau de assimetria oscila bastante entre muito positivo a negativo (Figura 16). Os sedimentos com valores assimétricos negativos (17% das amostras) distribuem-se principalmente na região próxima a Almeirim, correspondendo as Amostras 10 e 12.

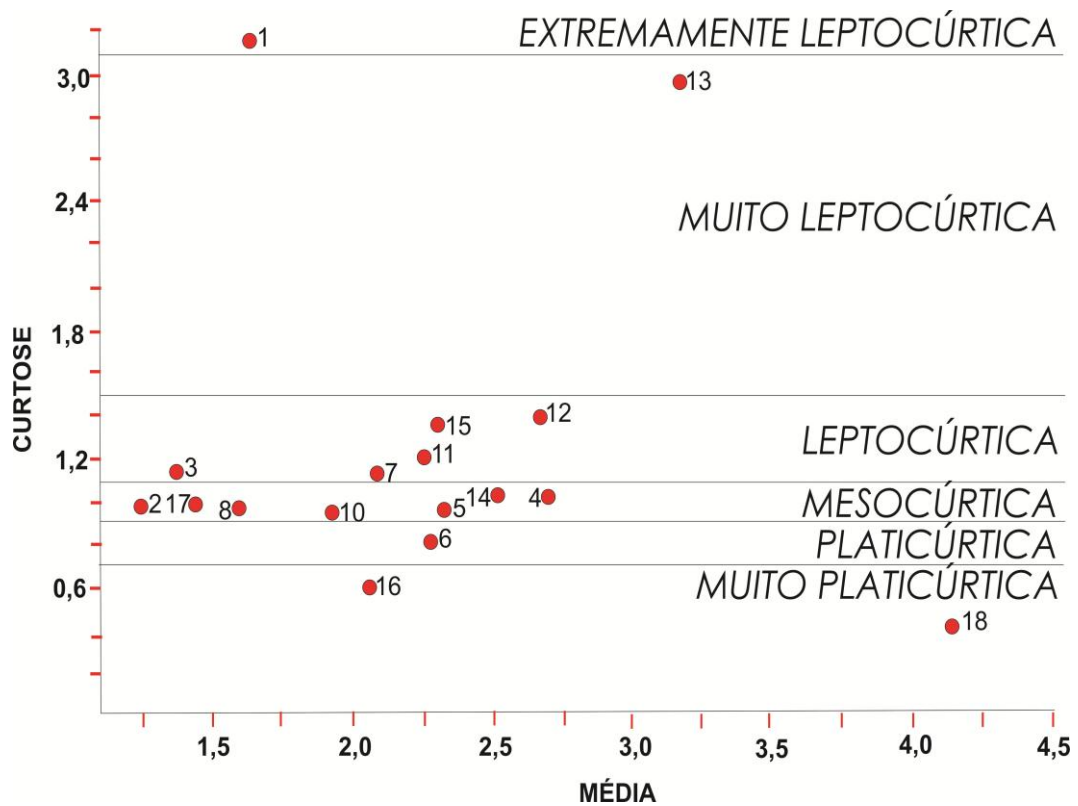
Os valores aproximadamente simétricos, que correspondem a 25% das amostras, distribuem-se principalmente próximo a cidade de Macapá, correspondendo às amostras 16 e 17. Os sedimentos com assimetria positiva a muito positiva são os mais comuns (58% das amostras), ocorrem amplamente ao longo de toda a área de estudo, sendo mais frequente próximo a cidade de Santarém, correspondendo às amostras (01,02,03,05 e 06).

## 5.3 MORFOSCOPIA E MORFOMETRIA DOS GRÃOS DE QUARTZO

O principal tipo morfológico encontrado foi o “boleado brilhante” (EL), onde as quantidades médias são superiores a 65% por amostra, sendo seguido pela tipo “não desgastado anguloso” (NU), com distribuições < 30%, subordinadamente ocorrem os “arredondados baços” (RM) < 7% (Figura 17 e 18).

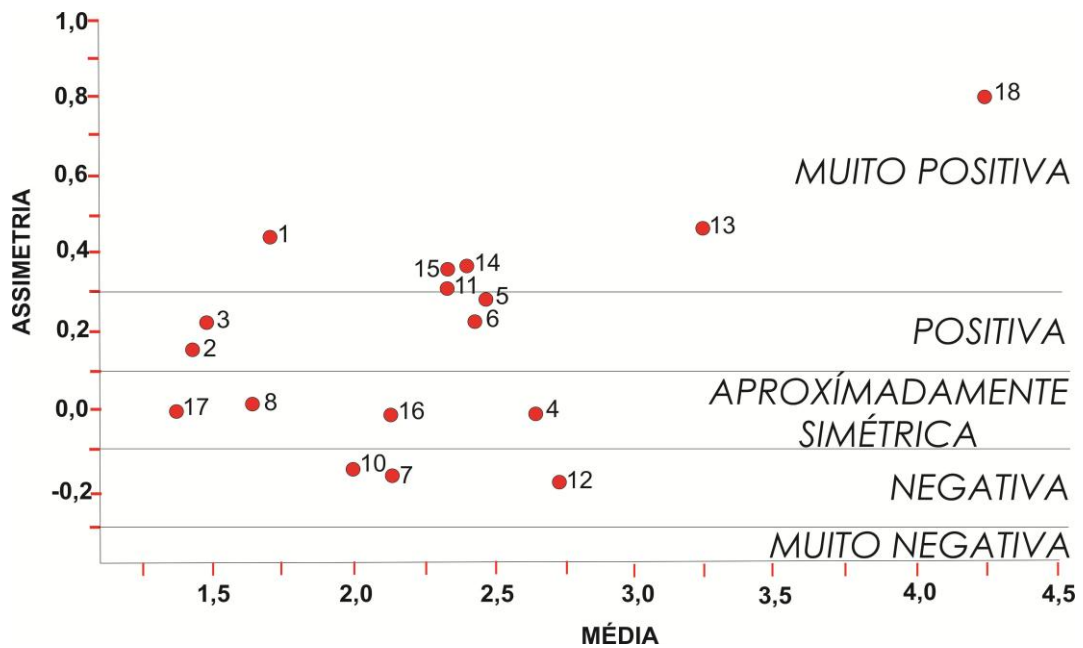
Os resultados da morfometria indicam a frequência de 36% de grãos subarredondados, 26% de arredondados e 24% subangulares, correspondendo às porcentagens, com média à baixa esfericidade, sugerindo assim uma maturidade relativamente média a baixa (Figura 17 e 18).

Figura 15- Distribuição dos valores de curtose em relação à média para os sedimentos coletados.



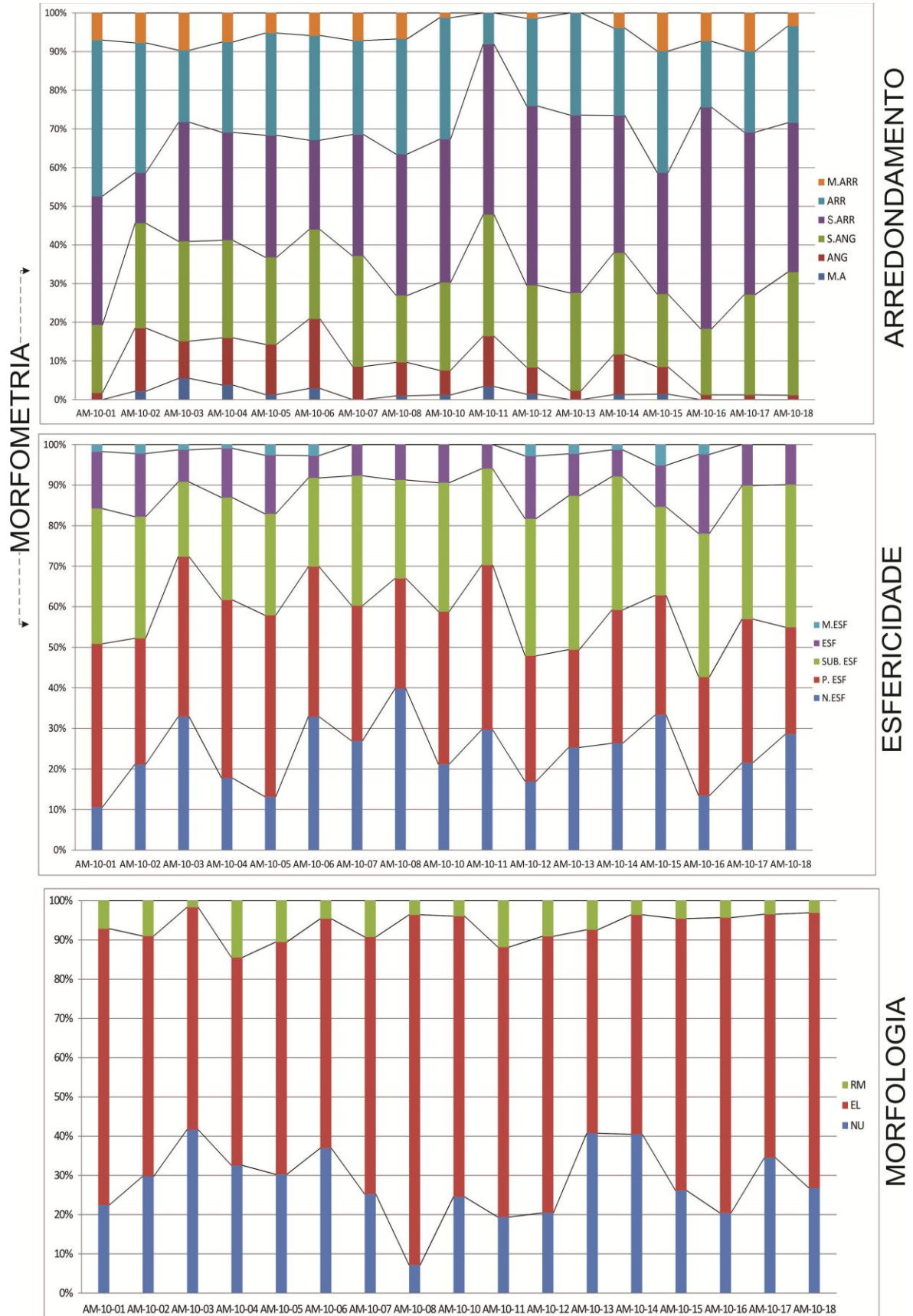
Fonte: Pandey et al. (2002)

Figura 16- Distribuição dos valores de assimetria em relação à média para os sedimentos coletados.



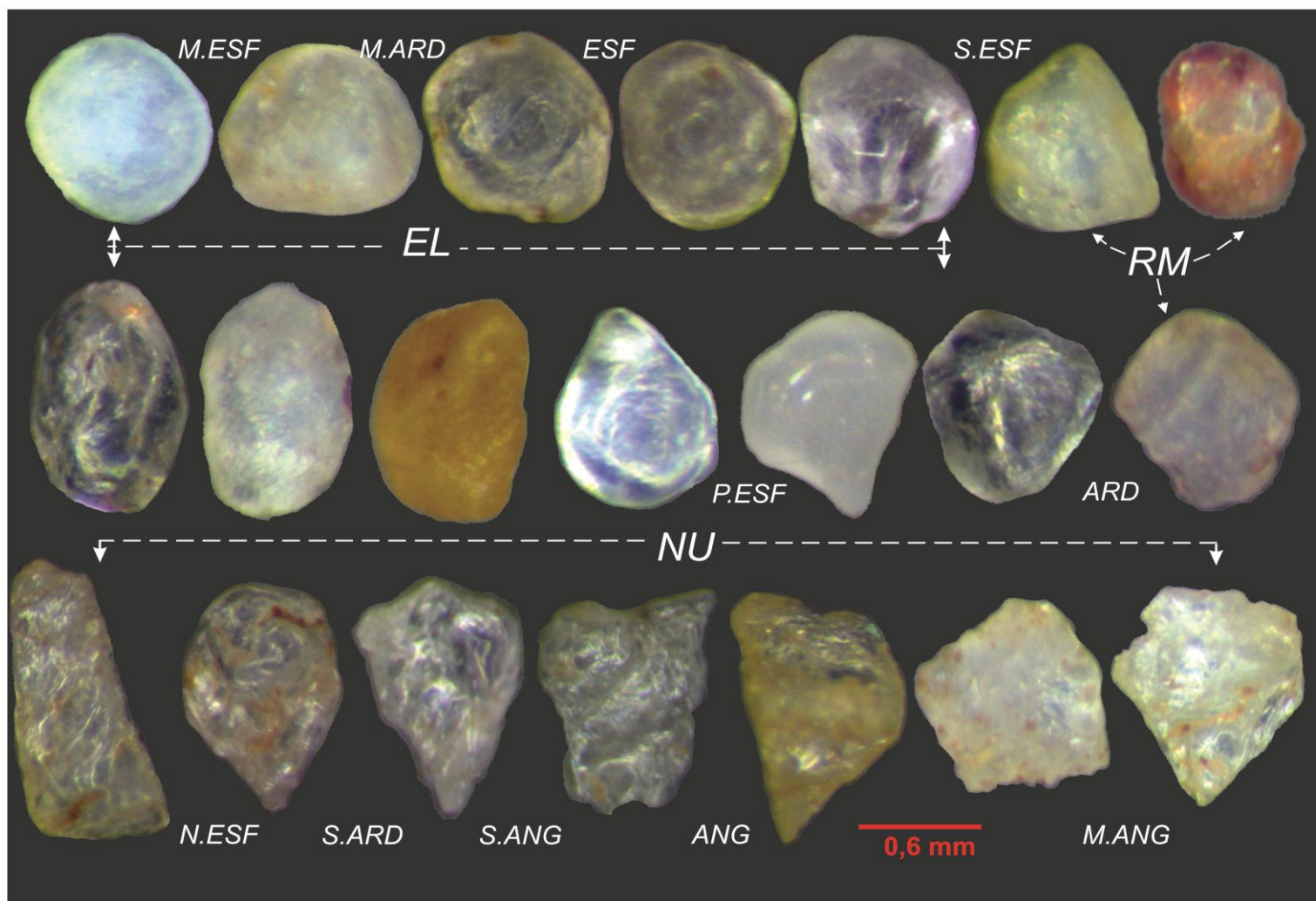
Fonte: Pandey et al. (2002)

**Figura 17-** Gráficos de morfometria e morfologia com seus respectivos valores plotados em porcentagem.



Fonte: Do autor

**Figura 18-** Partículas de quartzo do tamanho areia média. Siglas menores são referentes a morfometria, estabelecendo o grau de arredondamento e esfericidade. Já as siglas maiores representam a morfoscopia.



Fonte: Do autor.

## 6 MINERAIS PESADOS

### 6.1 MINERAIS PESADOS TRANSPARANTES DE SEMENTOS RECENTES DO RIO AMAZONAS

#### 6.1.1 Quantificação

Nos intervalos granulométricos analisados (0,250-0,125 mm- 0,125-0,062 mm), os minerais identificados foram: grupo dos piroxênios (augita, hiperstênio e diopsídio), grupo dos anfibólios (hornblenda, actinolita, tremolita e antofilita), grupo do epidoto (zoisita e epidoto), titanita, os polimorfos de  $Al_2SiO_5$  (andaluzita, cianita e sillimanita), topázio, estaurolita, granada, turmalina, polimorfos de  $TiO_2$  (anatásio, brookita e rutilo) e o zircão.

Dos minerais anteriormente citados, os que correspondem a quantidades superiores a 10% são zircão, turmalina, rutilo, estaurolita, granada, hornblenda, hiperstênio e augita.

#### 6.1.2 Índice Zircão, Turmalina e Rutilo (ZTR), relacionado com a Estaurolita ( $Est/ZTR+Est$ ) e Índice ZTi (Turmalina/Zircão+Turmalina).

##### 6.1.2.1 Índice ZTR

Foi constatado que as maiores porcentagens ocorreram nas proximidades da cidade de Santarém. Região de confluência entre os rios Amazonas e Tapajós. As três primeiras amostras apresentaram porcentagens de 17, 85 e 69% respectivamente. A partir da amostra 04 até a de número 07 o índice ZTR sofre um brusco decréscimo, estando em quantidades iguais a (7, 3, 4, e 4%) respectivamente. No entanto, amostra 08 torna-se elevado novamente (78%). Essa oscilação na porcentagem do índice ZTR continua, assim na amostra subsequente a quantidade cai para (4%).

Seguindo rio abaixo, após a amostra 11 cuja porcentagem é de (15%), ocorre outro acentuado decréscimo desde o exemplar 12 até o 16 (6, 3, 5, 5 e 9%), estando localizando nas proximidades da cidade de Almeirim. Já na última parte do trecho da área de estudo, o índice aumenta para (48%) na amostra 17, para novamente decrescer para (7%), no exemplar 18 localizado em frente à cidade de Macapá.

### 6.1.2.2 Índice Est/ZTR+Est e ZTi

Os mais altos valores do índice Est/ZTR+Est foram encontrados nas amostras (4,6, 10, 13 e 14), sendo os mais baixos correspondendo aos exemplares (2, 8, 12 e 17). Os picos no gráfico ZTi representam as amostras (2, 8 e 12), sendo menos frequente em (6, 10 e 15).

Os índices analisados foram plotados com seus respectivos valores na (Figura 19), além da proporção entre minerais opacos e não opacos. A relação entre minerais opacos e não opacos apresentam resposta positiva à questões como a maturidade, equiparando-se ao comportamento do índice ZTR.

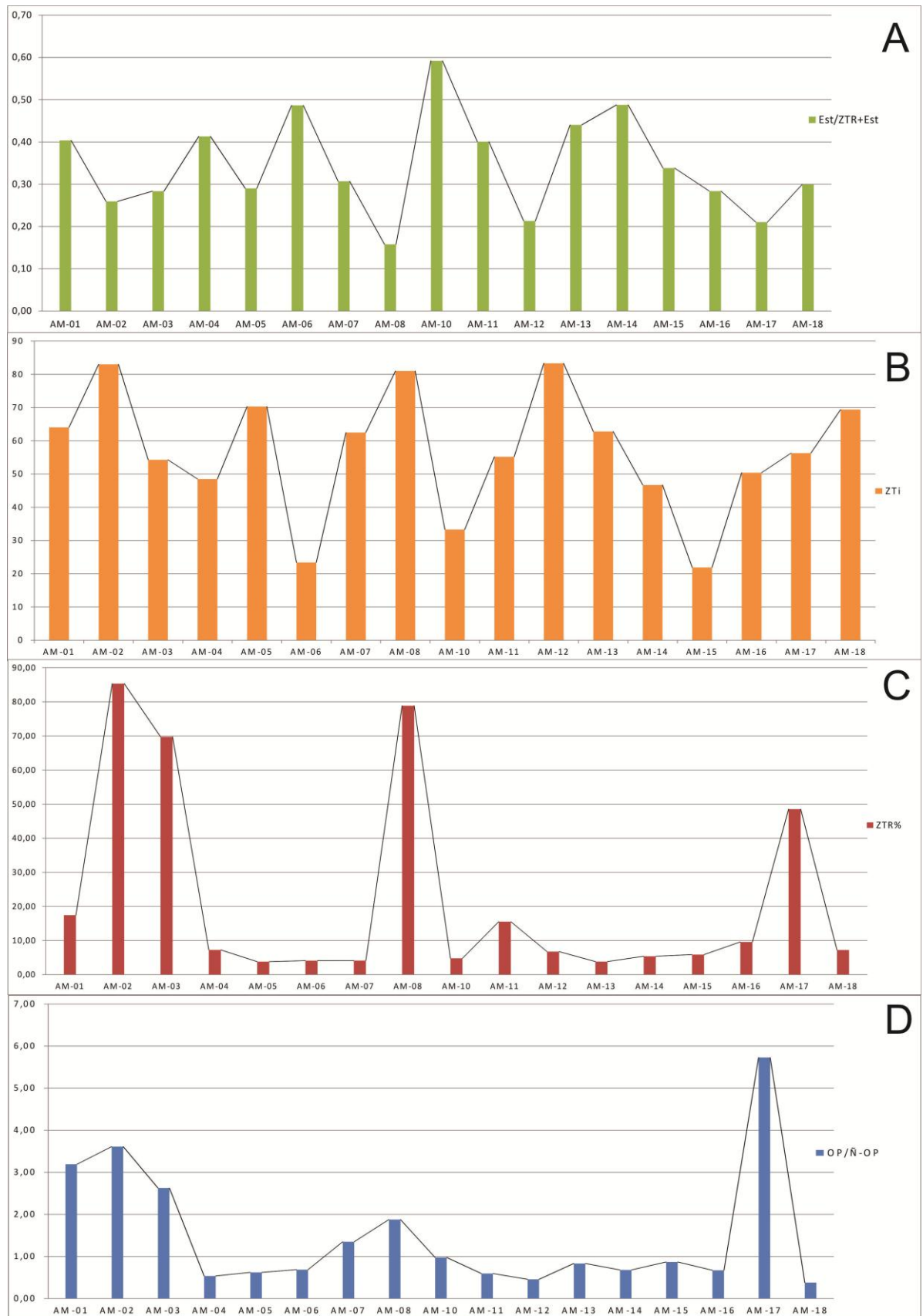
### 6.1.3 Piroxênios e Anfibólios

Considerados como sendo dois grupos que reúnem minerais de baixa estabilidade química e mecânica, encontraram-se em avançado desenvolvimento de texturas superficiais, tais como “bordas serrilhadas” (*hacksaw terminations*), “superfície mamilar” (*surface mamillae*), “terminações irregulares” (*ragged terminations*) dentre outras. Analisando os grupos piroxênio e anfibólio Turner e Morton (2007) consideraram que os ortopiroxênios em geral são tão instáveis quanto os clinopiroxênios, o grupo dos anfibólios mais estável que o dos piroxênios, no entanto não individualizando uma ordem de estabilidade dentro do grupo e sim, que anfibólios de composição sódica são mais resistentes do que os de composição cálcica.

#### 6.1.3.1 Actinolita ( $\text{Ca}_2(\text{Mg}_3\text{Fe}^{+2})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH}_2\text{F})_2$ )

Mineral de coloração verde creme com leve pleocroísmo, apresentando-se sob a forma de grãos fibrosos com hábito colunar cujas texturas superficiais identificadas foram pouco corroídas e serrilhadas, nessas circunstâncias sendo classificada como *unweathered* a pouco *corroded*. Comumente encontram-se inclusões de minerais opacos. Algumas vezes, ocorre como mineral de alteração da hornblenda, distinguindo-se da mesma por apresentar cor, ângulo de extinção e birrefringência diferentes, além da mesma ser mais resistente. Estando presente em somente seis amostras, alcançando um máximo de 1,0 % da quantidade total da amostra 16.

**Figura 19-** Índices ZTR, Est/ZTR+Est e ZTi, além da razão entre minerais opacos e não opacos.



Fonte: Do autor.

#### 6.1.3.2 Antofilita ( $\text{Mg}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ )

Mineral incolor com hábito prismático de extinção reta e birrefringência muito alta com cores vívidas. Apresentam fraturas que cruzam toda a extensão do grão. Não foram observadas texturas superficiais que indicassem a atuação de algum agente intempérico, portanto é considerada como *unweathered*. Inclusões de minerais opacos por vezes se fazem presente. A antofilita mineral encontra-se em somente cinco amostras, sendo mais significativa na amostra 13, onde alcança cerca de 1% do total.

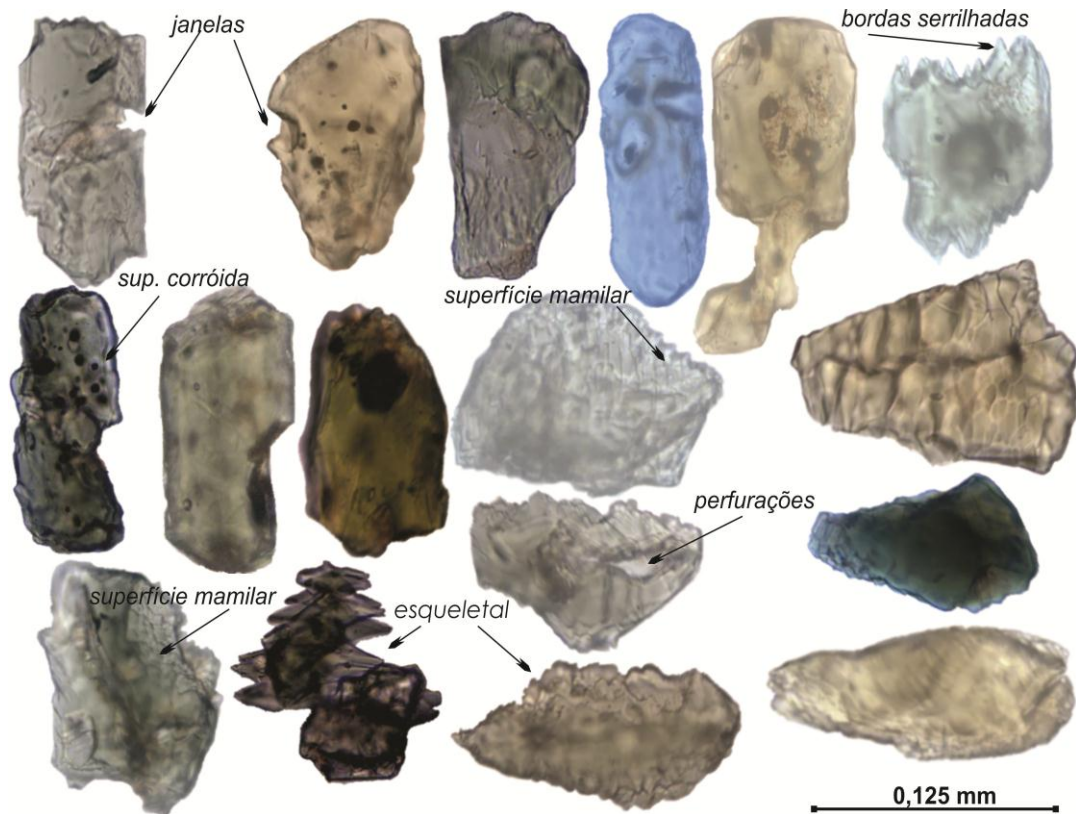
#### 6.1.3.3 Augita ( $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ )

Piroxênio mais frequente do grupo, ocorre como grãos de tonalidades verde creme pálido e por vezes amarronzado com fraco pleocroísmo. Apresentam grãos irregulares subédricos (retângulos quebrados) com bordas intensamente serrilhadas, superfícies perfuradas e completamente esqueletais em diferentes graus de corrosão (Figura 20). Além disso, apresentam texturas superficiais do tipo mamilar, o que sugere que esse mineral encontra-se na maior parte dos casos em avançados estágios de intemperismo tais como *deep etched* a *skeletal*. Perfaz até cerca de 40% do total amostra 15, a augita é mais comumente encontrada em torno de 25% por amostra, ausente apenas na amostra 03.

#### 6.1.3.4 Diopsídio ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ )

São representados por grãos incolores com algumas manchas de tonalidade esverdeada. Apresenta hábito prismático com bordas levemente arredondadas e corroídas, com terminações irregulares. São interpretados como considerado como sendo pertencente ao estágio *corroded*, encontrado somente na amostra 15, com valores que não ultrapassa 0,5 %.

**Figura 20-** Aspectos morfológicos e texturais dos grãos de augita

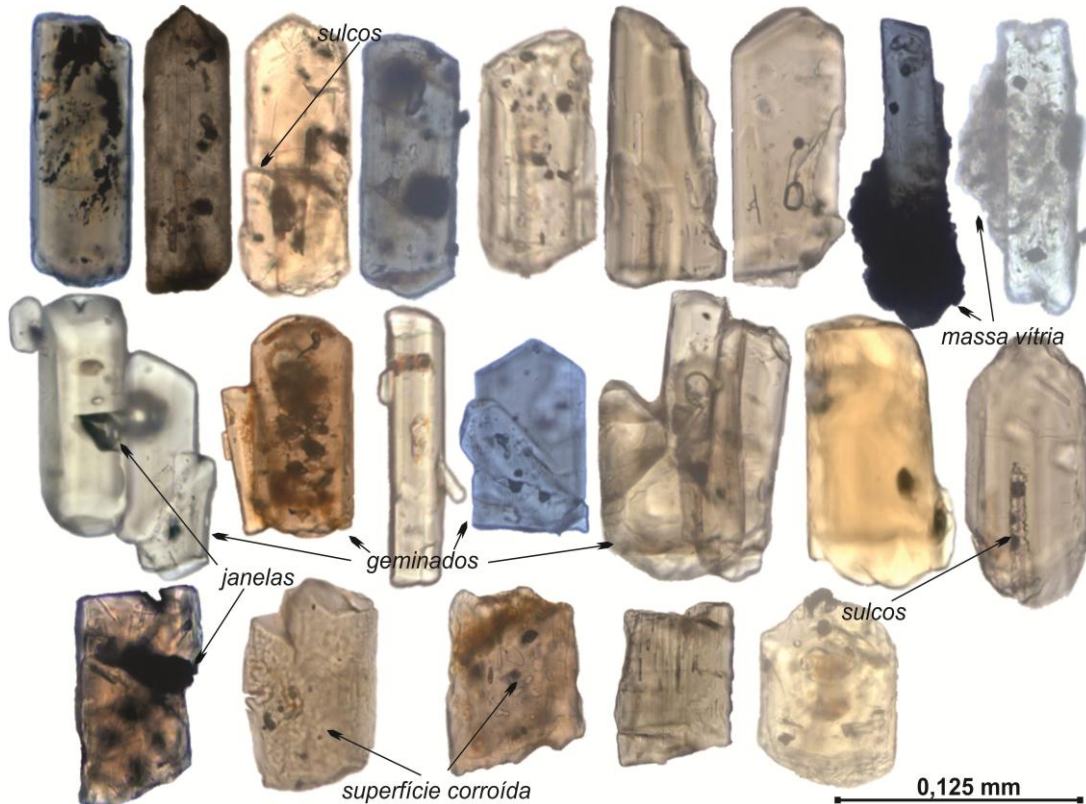


Fonte: Do autor.

#### 6.1.3.5 Hiperstênio ( $3(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$ )

Presente sob a forma de grãos geralmente prismáticos euédricos a subédricos, raramente com grau de esfericidade e arredondamento alto. Apresentam brilho vítreo de coloração verde acastanhado, com intenso pleocroísmo róseo a verde. As texturas superficiais identificadas foram: bordas levemente serrilhadas a esqueletais e algumas levemente corroídas (Figura 21), sendo incluído no estágio inicial de *ethed*. Algumas vezes encontram-se geminados e inclusões, de minerais opacos e fluidas são comuns. Ocorrem como um dos principais minerais em termos de abundância, com média de 14,8% por amostra e máxima de 31,6%, ausente somente na amostra 03.

**Figura 21-** Aspectos morfológicos e texturais dos grãos de hiperstênio.



Fonte: Do autor.

#### 6.1.3.6 Hornblenda ( $(Ca,Na,K)_{2-3}(Mg,Fe^{+2},Fe^{+3},Al)_5Si_6(Si,Al)_2O_{22}(OH,F)_2$ )

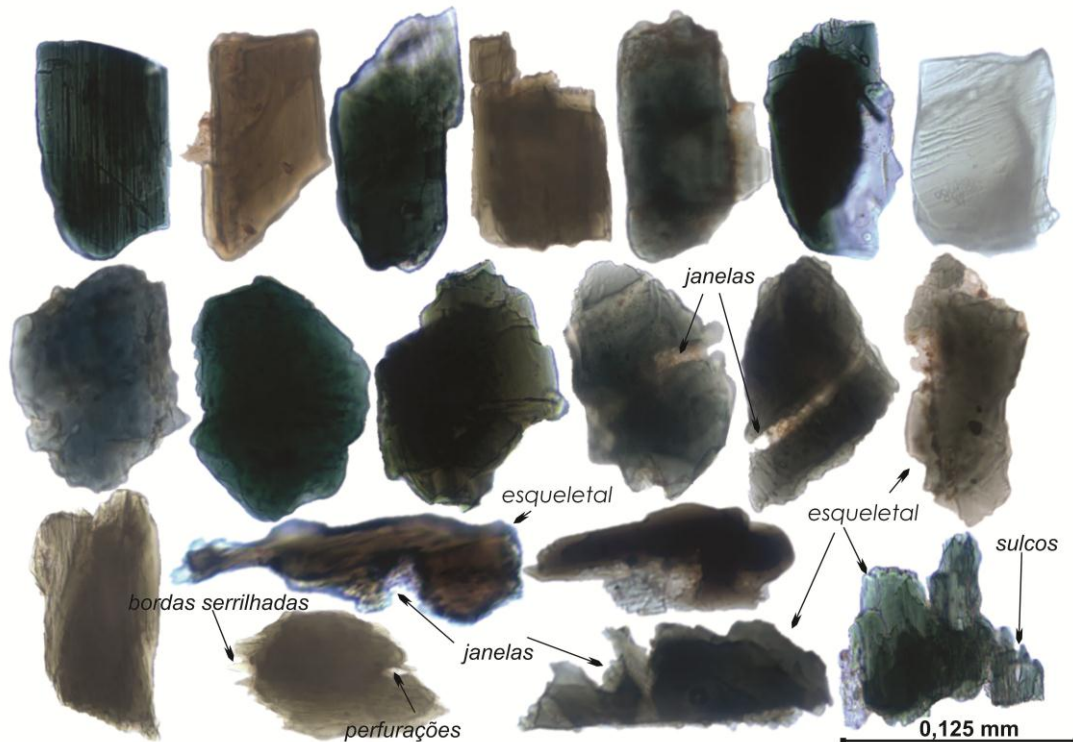
Presentes em formas “lenhosas” em grãos prismáticos curtos e alongados, além de fragmentos angulosos irregulares ou tabulares, raramente com grau de esfericidade e arredondamento alto, clivagem distinta e pleocroísmo intenso. Foram identificadas duas variedades, uma verde e outra marrom, tendo como texturas superficiais: bordas levemente serrilhadas a raramente esqueletais e por vezes levemente corroídas (Figura 22). Existe um relativo equilíbrio entre os diferentes estágios de dissolução, o que revela um constante avanço da intensidade ou do tempo de exposição aos intempéries, sugerindo uma constante evolução de *unweathered até skeletal*. Inclusões são comuns, principalmente de minerais opacos. A hornblenda é o mais abundante dentre os minerais instáveis, ausente apenas na amostra 03, com média de 22,5% por amostra e máxima de 42,4% no exemplar 07.

#### 6.1.3.7 Tremolita ( $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH,F)_2$ )

Mineral incolor e frequentemente presente sob a forma de prismas curtos, birrefringência moderada e ângulo de extinção varia de 18-21°, tendo como texturas

superficiais: terminações irregulares e bordas levemente corroídas, enquadrando-se no estágio *corroded*. Foram identificados em somente quatro amostras, onde alcança um máximo de 0,5 % na amostra 16.

**Figura 22-** Aspectos morfológicos e texturais dos grãos de hornblenda.



Fonte: Do autor.

#### 6.1.4 Grupo do Epidoto

O grupo do epidoto é mais estável que piroxênios e anfibólios, no entanto ainda pertencente ao patamar de minerais instáveis. Os minerais desse grupo apresentam significativas quantidades de texturas superficiais. Assim, foram identificados dois tipos de minerais: o epidoto e a zoisita, cuja diferença está basicamente na cor, birrefringência e no hábito em que cada um se apresenta (TURNER; MORTON, 2007).

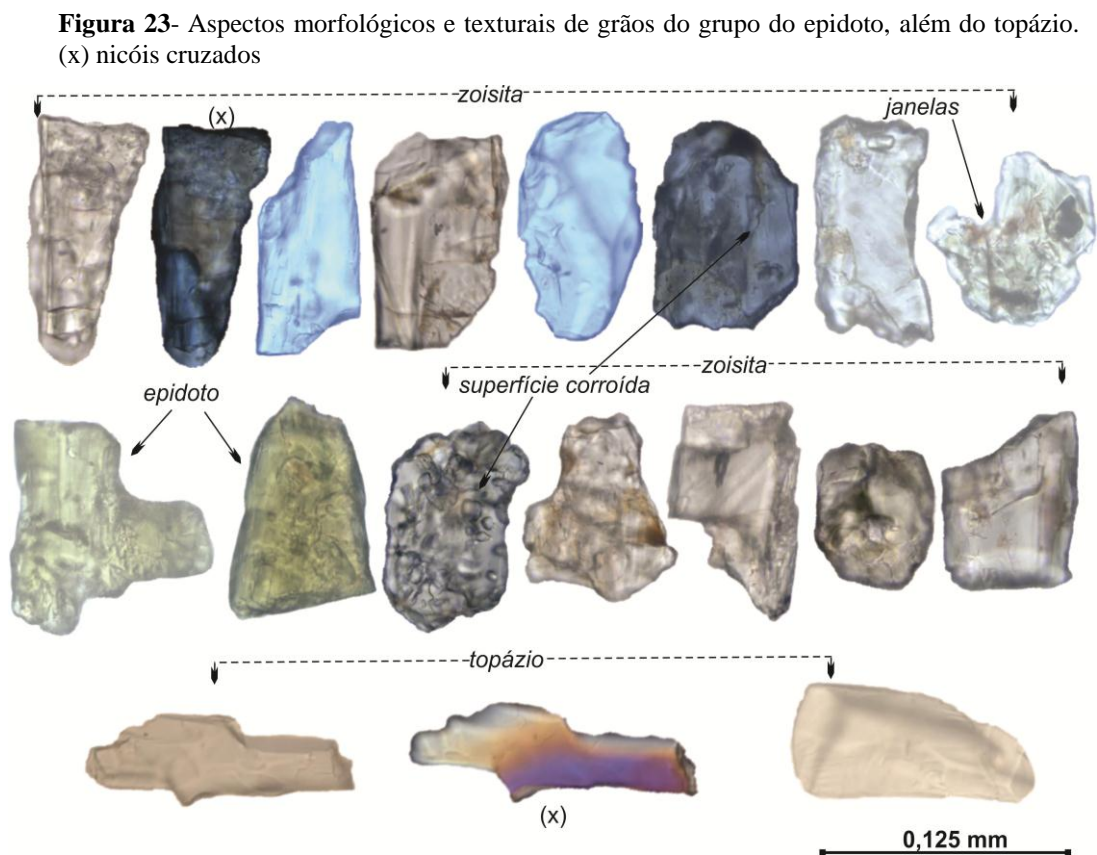
##### 6.1.4.1 Epidoto

Mineral de coloração verde pistache (pistachita) levemente a não pleocróico, ocorre na forma de grãos angulosos e irregulares (Figura 23). Por muitas vezes as bordas encontram-se corroídas e a superfície do grão perfurada. As observações sugerem um enquadramento no estágio *corroded*, além disso, são comuns as inclusões de minerais opacos. Este mineral está

presente de forma moderada na maioria das amostras, onde possui uma máxima de 2,4% (amostra 18) e média de 1,3%, ausente apenas no exemplar 03.

#### 6.1.4.2 Zoisita ( $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ )

Mineral incolor com birrefringência característica na cor azul. Apresentam grãos com hábito prismático, textura de corrosão e bordas irregulares (Figura 23), assim incluindo-se no estágio *corroded*. Inclusões fluídas e de minerais opacos se fazem presente. Em termos de distribuição esse mineral ocorre em maior quantidade que o epidoto, com uma média de aproximadamente 2,5% e uma máxima de 6,14% na amostra 16.



Fonte: Do autor.

#### 6.1.5 Titanita ( $\text{CaTiSiO}_4(\text{OH},\text{F})$ )

Ocorre em quantidades menores que 2% e apresenta-se sob formas de diamante, muitas vezes são irregulares, com brilho resinoso e coloração marrom creme pálido. Não sendo observadas texturas superficiais nesse mineral, sendo classificado no estágio *weathering*.

### 6.1.6 Topázio ( $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH},\text{F})_2$ )<sup>5</sup>

O topázio é considerado por Morton e Hallsworth (1994), como uma incógnita no que diz respeito ao sua colocação dentro de uma ordem de estabilidade, devido a sua escassez. Mineral incolor geralmente irregular anguloso e por vezes com bordas arredondadas (Figura 23). Apresentam textura superficial representada por bordas irregulares, podendo ser agrupado ao estágio *corroded*. Ocorrem com média 0,3 % por amostra, no entanto alcançam valores de 2,3% na amostra 17.

### 6.1.7 Polimorfos ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ )

Os três polimorfos de ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ) apresentam comportamentos similares em relação a resistência ao intemperismo (Figura 24). Não são observados graus de corrosão ou intemperismo acentuados, as poucas texturas superficiais encontradas foram janelas e corrosão superficial. Desta forma, esse conjunto de minerais enquadram-se no estágio *weathering*. Tendo considerável distribuição ao longo das amostras analisadas, são facilmente discernidos entre si, por apresentarem hábito, ângulo de extinção, cor (andaluzita rosa) e birrefringência diferentes.

#### 6.1.7.1 Andaluzita

As andaluzitas em geral são avermelhadas e levemente pleocroicas, algumas contêm inclusões fluidas e de materiais opacos. Predominam grãos prismáticos subédricos com pouca a nenhuma evidencia de corrosão superficial. Sua ocorrência é considerada como rara por Morton e Hallsworth (2007). Nas amostras estudadas esse mineral alcança até 6,5 % do volume total dos grãos contados no exemplar 17, no entanto em média não ultrapassam os 2%.

#### 6.1.7.2 Cianita

Ocorre como grãos transparentes a translúcidos, com brilho vítreo a nacarado e hábito geralmente prismático tabular. Os grãos geralmente são dominados pela clivagem perfeita em (100), que juntamente com uma clivagem em (010) e a partição em (001), originam um contorno aproximadamente retangular, achatado, onde são observados degraus e reentrâncias. Os fragmentos de clivagem são alongados, mas com bordas arredondadas. De Ampla

---

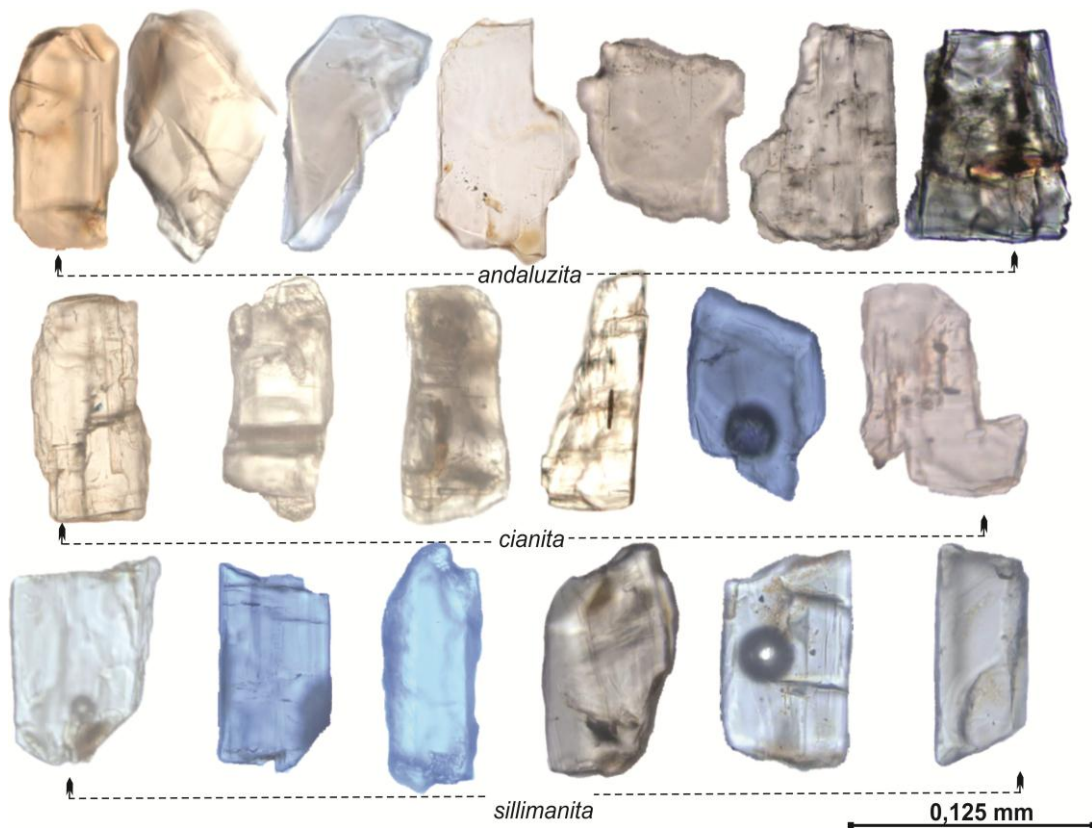
<sup>5</sup> A ordem de colocação desse mineral foi colocada após a titanita, em virtude de não apresentar texturas superficiais características de um mineral instável.

distribuição, ausente apenas nas amostras 14 e 15, em quantidades médias de 1,5 %, alcança um máximo de 6,6% no exemplar 18.

### 6.1.7.3 Sillimanita

Mineral incolor frequentemente encontrado como grãos prismáticos alongados, com texturas superficiais de corrosão e intemperismo ausentes. Encontra-se em quantidades médias de aproximadamente 1,7 %, tendo uma máxima de 5,3% na amostra 17.

**Figura 24-** Aspectos morfológicos e texturais dos grãos minerais de  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$



Fonte: Do autor

### 6.1.8 Estauroлита (( $\text{Fe}^{+2}, \text{Mg}$ )<sub>2</sub>( $\text{Al}, \text{Fe}^{+3}$ )<sub>9</sub> $\text{O}_6(\text{SiO}_4)_4(\text{O}, \text{OH})_2$ )

Seus grãos apresentam brilho vítreo a resinoso em tons amarelados, cujo pleocroísmo varia de incolor a amarelo dourado. Apresentam formas geralmente prismáticas subédricos e raramente arredondadas. Algumas texturas superficiais são encontradas, tais como as de origem mecânica (fraturas sub conchoidais a conchoidais), que controlam a forma alongada da maioria dos grãos, os quais quase sempre exibem um forte grau de corrosão, além das “cristas de galo” (*cokscomb*) (Figura 25), sugerindo uma evolução do estágio *corroded* para o

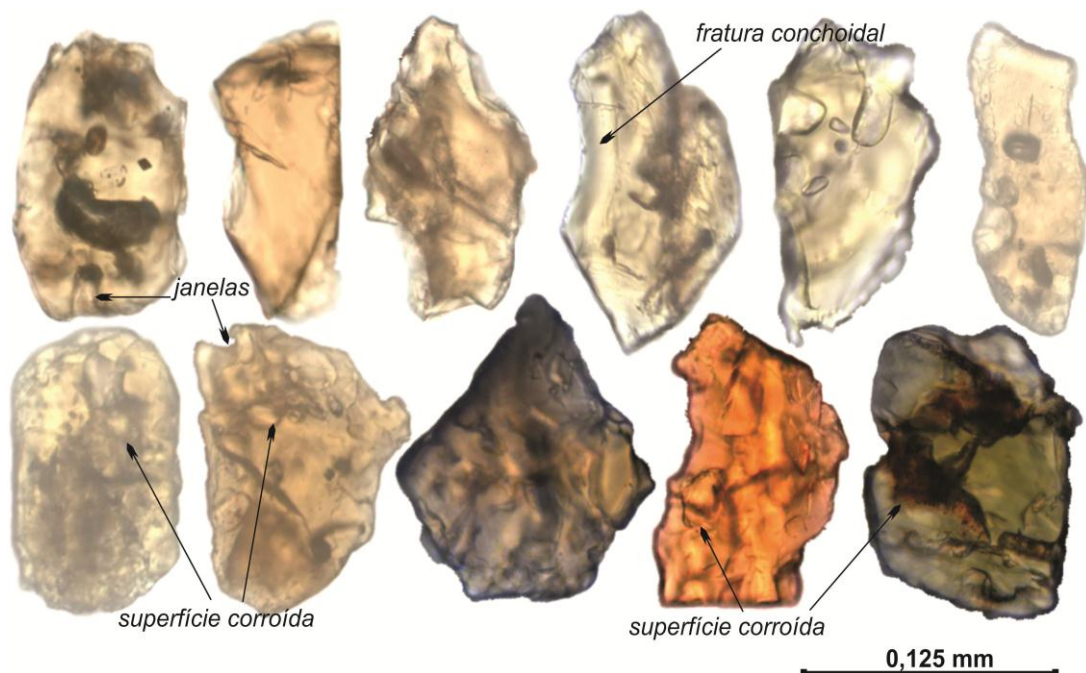
*etched*. Ocorre frequentemente em todas as amostras com média de 5,5% e máxima de 27% na amostra 03.

### 6.1.9 Granada ( $\text{Mg,Fe,Mn})_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$

Incluso no grupo de minerais estáveis ou moderadamente estáveis, fato que depende da quantidade de ferro (PETTIIJOHN et al., 1972). Foi classificada por Morton (1985) como extremamente estável sob ações de intempéries e de relativa estabilidade durante a diagênese.

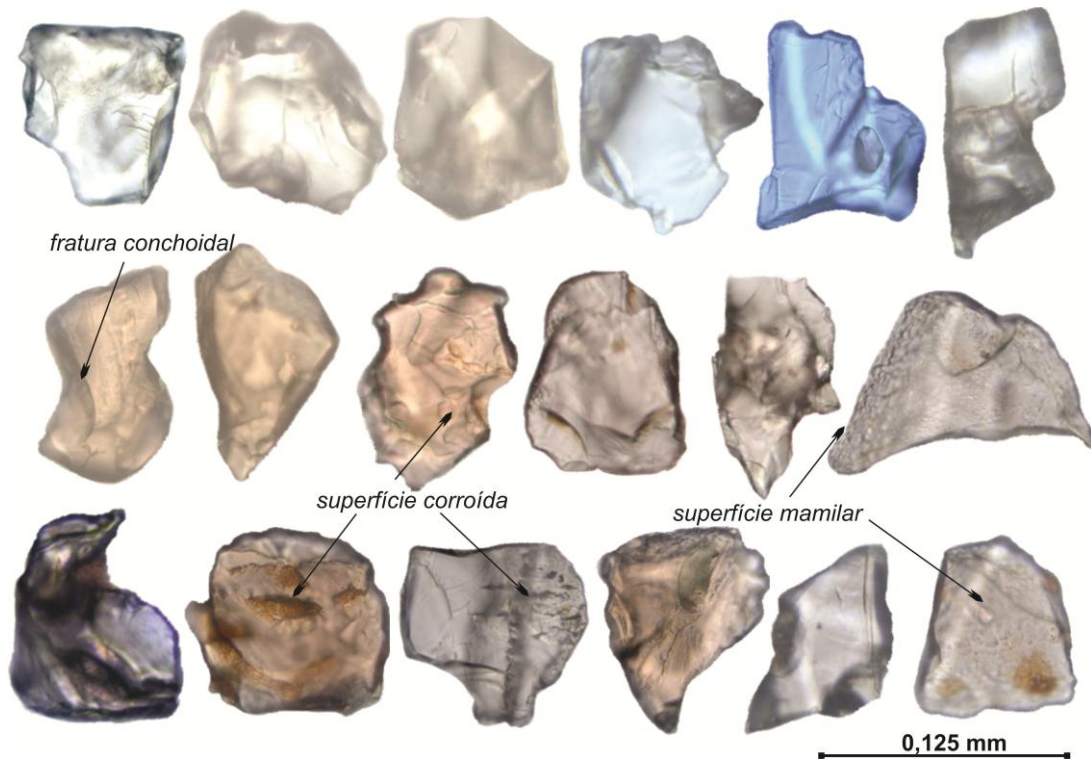
Nas amostras analisadas esse mineral encontra-se sob a forma de grãos irregulares, fraturados e por vezes arredondados. Em geral são incolores, no entanto ocorrem exemplares de coloração rosa e marrom creme. Fraturas conchoidais são presentes, assim como texturas superficiais do tipo mamilar e bordas por vezes, profundamente irregulares. As texturas superficiais sugerem que ocorre vários graus de intensidade do estágio *corroded*. Grãos de granada são comuns nas amostras analisadas, ausente apenas no exemplar 02, com média de aproximadamente 4% e uma máxima de cerca de 12%.

**Figura 25-** Aspectos morfológicos e texturais dos grãos de estauroлита.



Fonte: Do autor.

**Figura 26-** Aspectos morfológicos e texturais dos grãos de granada.



Fonte: Do autor.

#### 6.1.10 Turmalina $((\text{Na,Ca})(\text{Mg,Al,Li})_3(\text{Al,Fe,Mn})_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4)$

É considerada como um dos minerais detríticos mais estáveis (TURNER; MORTON, 2007). Este mineral apresenta-se sob grande variedade morfológica tais como prismas (curto e alongado) por vezes quebrados, provavelmente devido a abrasão mecânica ocorrida durante o transporte sedimentar. Também ocorrem sob a forma de “ovos” (*egg-shaped*), nas cores, azul, verde, marrom. Além de inclusões fluidas e de minerais opacos estão presentes. Em alguns casos, foram identificados grãos com sobrecrecimento (Figura 27), o qual é comparado por Mange e Maurer (1992) como “pequenas raízes” (*small roots*).

Outras observações foram em relação ao zoneamento de cores destacado em alguns minerais, que pode estar associado a diferentes composições. Mesmo pertencente ao patamar de mineral estável, é possível observar que algumas texturas superficiais ainda se fazem presente, tais como, corrosão superficial e sulcos, podendo assim alocar esses grãos como sendo pertencentes ao estágio *corroded*. No entanto, em sua grande maioria enquadram-se como *unweathered*. Possuem boa distribuição de frequência, com média 5,5% por amostra e máxima de 22,9% na amostra 03.

### 6.1.11 Polimorfos de TiO<sub>2</sub>

#### 6.1.11.1 Anatásio

Mineral de cor azul, relevo extremo, brilho sub metálico e forma predominantemente tabular. Não foram constatados sinais de corrosão (Figura 27). O anatásio foi identificado em apenas seis amostras, a amostra com maior porcentagem identificada foi a 06, aproximadamente cerca de 0,4 % do total.

#### 6.1.11.2 Brookita

Mineral com cor marrom e formas irregulares (Figura 27), foi identificado em apenas duas amostras (04 e 16) em quantidades que não alcançam 0,5 %. São caracterizados pela forte dispersão e incomum birrefringência, além de extinção incompleta.

#### 6.1.11.3 Rutilo

O rutilo apresenta-se normalmente como grãos prismáticos irregulares e subédricas em formas que chegam a atingir altos graus de arredondamento e esfericidade (Figura 27). Ocorrem em formas com brilho metálico e coloração que varia de castanho avermelhado escuro a amarelo-alaranjado. As texturas superficiais identificadas foram as estrias e fraturas conchoidais. Ocorre em média de 2%, com máxima de 4,9% na amostra 03, ausente apenas na amostra 18.

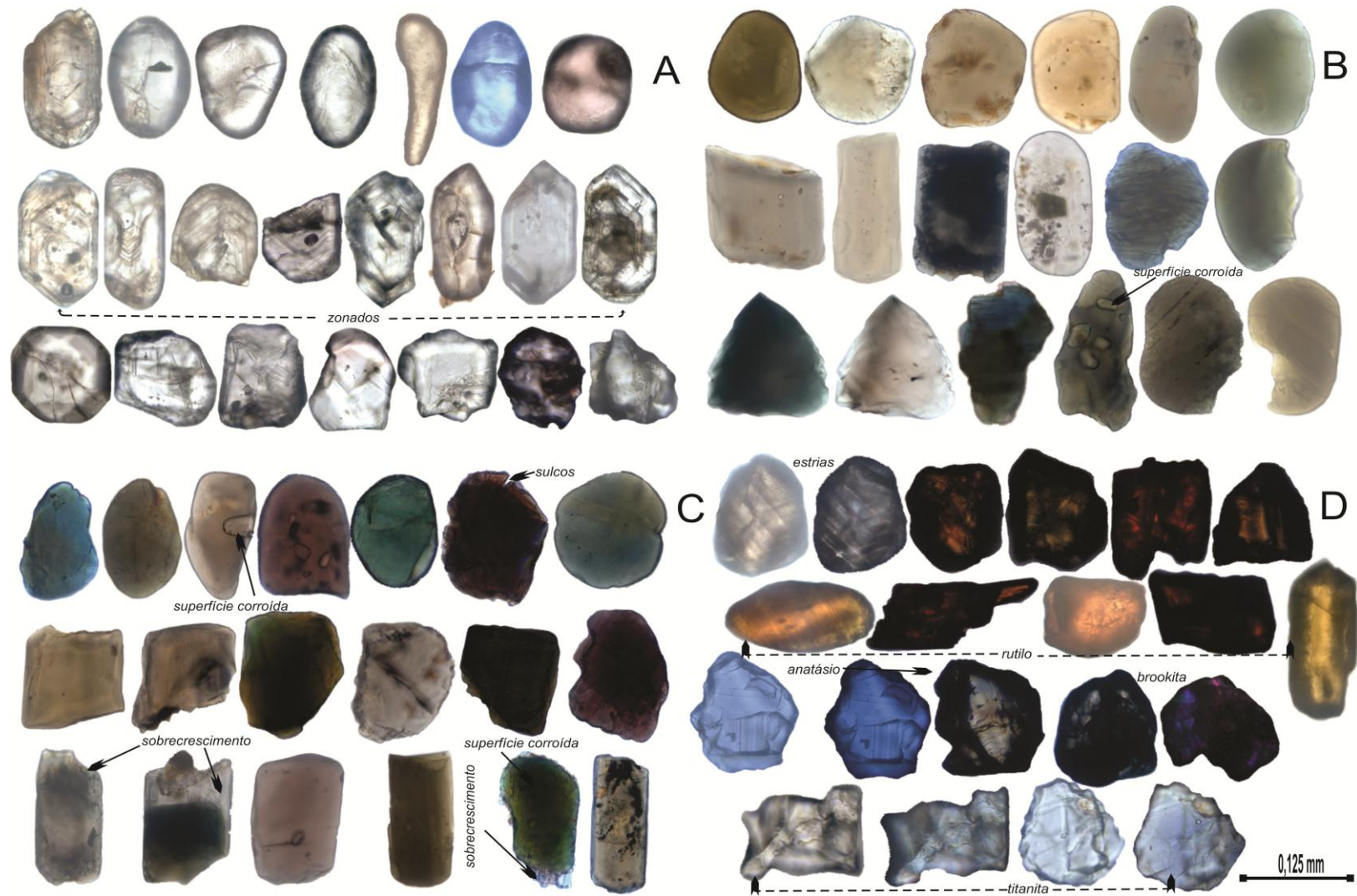
### 6.1.12 Zircão (ZrSiO<sub>4</sub>)

Zircão é considerado um mineral pesado ultraestável que apresenta grande variabilidade morfológica que somada as diferentes cores, tornam este um mineral diferenciado, mas de fácil identificação e grande importância em termos de proveniência (HUBERT, 1962; PETTIJOHN, 1972). O zircão ocorre sob formas prismáticas (alongadas e curtas), irregulares e arredondadas, além de por vezes apresentarem um zoneamento concêntrico, outros sendo metamíticos.

Os grãos mais frequentes são os incolores sendo seguidos pelos marrons e subordinadamente os róseos, tendo como principais inclusões as fluídas e de minerais opacos. Grãos fraturados são comuns, bem como prismas quebrados, no entanto não foram observadas texturas superficiais que indicassem uma susceptibilidade em relação aos diferentes tipos de intemperismo, podendo assim alocar esses grãos como sendo pertencentes ao estágio

*unweathered*. As maiores quantidades desse mineral estão registradas nas amostras (02,03,08 e 17) correspondendo a percentagens de (69, 42, 60 e 28%), apresentando uma distribuição média de 14,7%.

**Figura 27-** Aspectos morfológicos e texturais dos grãos de A) zircão, B)e C) turmalina, D) polimorfos de (TiO<sub>2</sub>) e titanita.



Fonte: Do autor

## 7 MORFOLOGIA DOS ZIRCÕES E TURMALINAS

Em termos de variedades de zircão tem-se os seguintes valores médios Zr1(47%), Zr9 (30%), Zr4 (16%), Zr7 (3%), Zr8 (1,5%), Zr2 (1%),Zr3 (0,6%), Zr6 (0,6%), Zr5 (0,3%), (Figura 29).

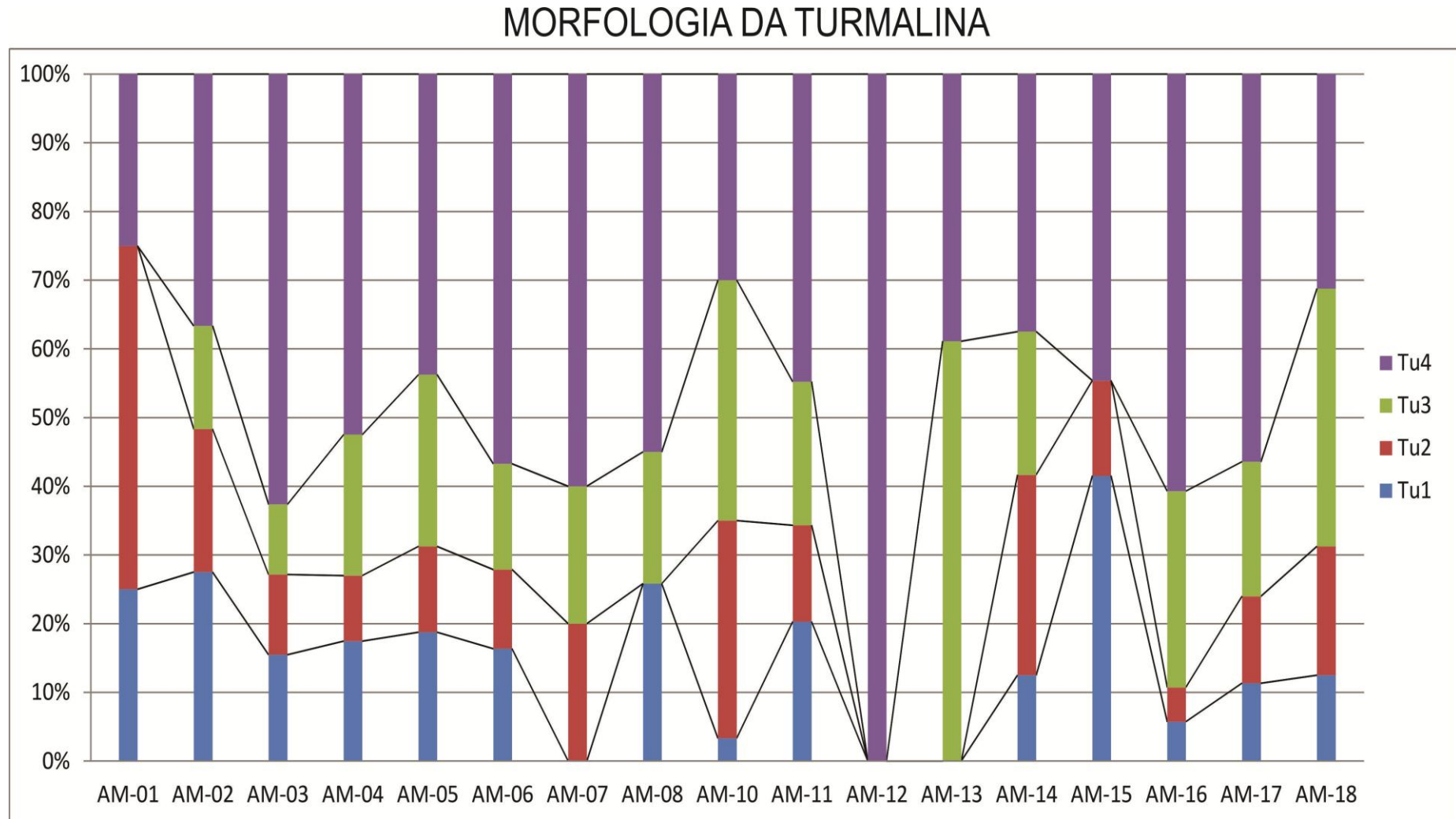
O tipo Zr1 tem maior destaque nas amostras (6, 7 e 14, 15), tendo como valores (75, 75 e 72, 80%) respectivamente, e menor expressão nas amostras (2, 10, 11 e 12), correspondendo a (23, 20, 20 e não sendo computado na de número 12).

O Zr9 aparece com maior frequência nas amostras (4, 8, 11 e 12), tendo valores de (40, 52, 65 e totalizando 100% dos grão contados na de número 12), respectivamente.

A turmalina apresenta as seguintes porcentagens médias Tu4 (46%), Tu3 (22%), Tu1 (16%) e Tu2 (16%). Tendo maior expressão nas amostras (3, 4, 6, 8,16 e 17) onde suas porcentagens correspondem a (63, 52, 56, 55, 61 e 57%). O tipo Tu3 apresenta valores superiores a 30% somente na amostra 10.

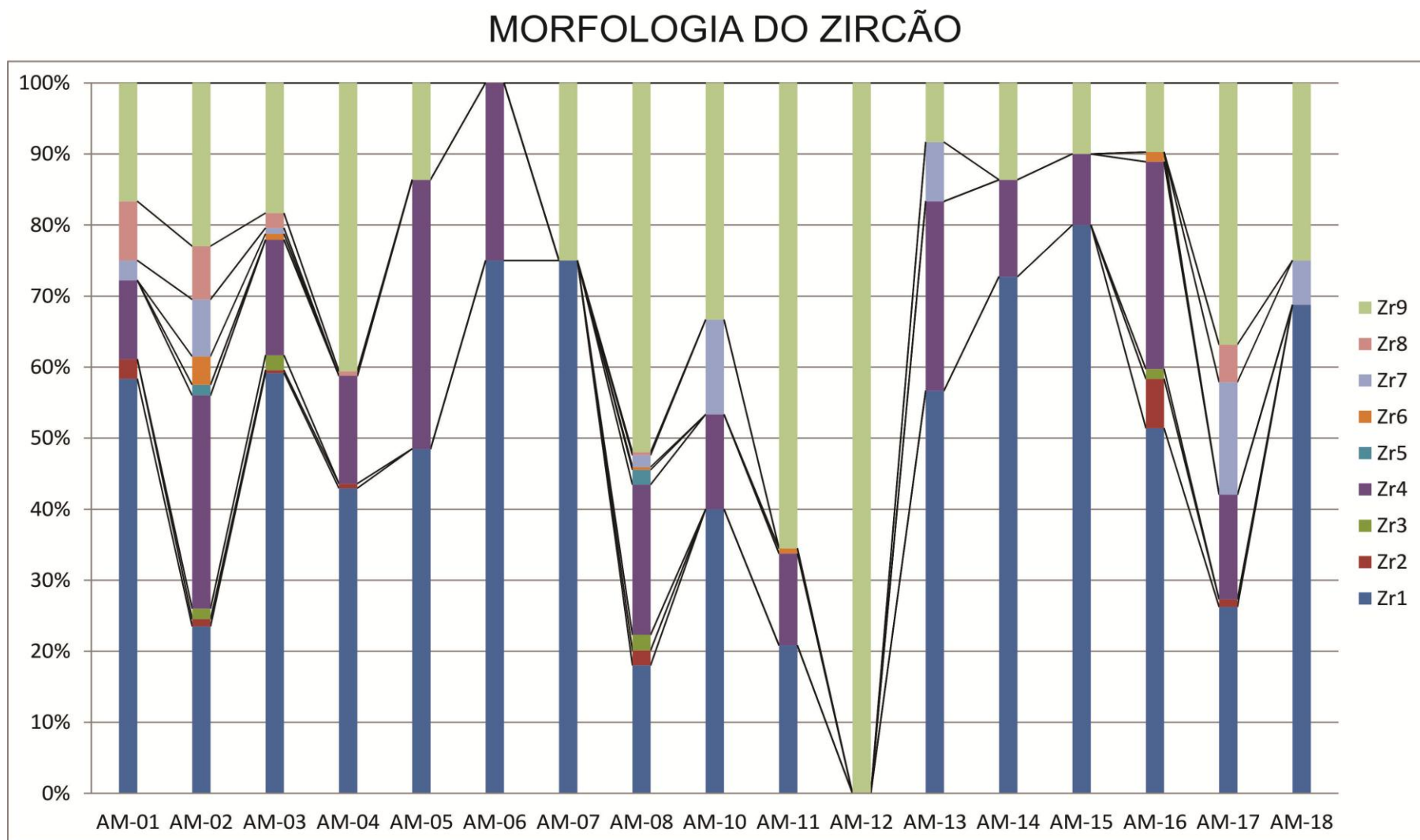
O Tu1 tem na amostra 15 sua maior expressão (42%), já o Tu2 apresenta valores maiores que 30% nas amostras 01 e 10.

**Figura 28-** Gráfico representando os tipos morfológicos de turmalina para os sedimentos do Rio Amazonas



Fonte: Do autor.

**Figura 29-** Gráfico representando os tipos morfológicos de zircão para os sedimentos do Rio Amazonas



Fonte: Do autor.

## 8 DISCUSSÕES

Uma das tendências encontradas ao se analisar a granulometria foi que houve um predomínio das partículas de tamanho areia fina, como já comprovado anteriormente por Nordin et al. (1981). Entretanto, diferentemente do proposto por esses autores, cujas análises indicaram não ter havido uma redução contínua do tamanho dessas partículas e sim uma série de alternâncias entre as diferentes frações, neste TCC observou-se um vetor favorável a diminuição do tamanho dos grãos. As primeiras amostras coletadas são constituídas por areias médias e a partir da amostra 4, houve um predomínio de areias finas, com uma subsequente alternância para areia muito fina. Assim, sugerimos que o trecho do Rio Amazonas estudado pode ser comparado de maneira positiva ao padrão seguido pela maior parte dos cursos d'água aluviais, onde o material sedimentar torna-se mais fino e uniforme rio abaixo como no caso do Rio Mississippi (NORDIN et al., 1981).

A curtose relevou que as distribuições leptocúrticas a extremamente leptocúrtica e mesocúrtica ocorrem de maneira mais expressiva na porção central da região estudada, indicando assim a dominância de um agente geológico atuante com alta energia (BARROS et al., 2008). Os valores platicúrticos a muito platicúrticos representam pouca relevância na área, distribuindo-se principalmente nas proximidades da cidade de Macapá, onde possivelmente há uma mistura maior entre as populações dos sedimentos em função das distintas direções de fluxos atuantes.

Martins (2003) associa os valores negativos a muito negativos de assimetria ao ambiente costeiro, sendo que estes valores caracterizam um ambiente de sedimentação relacionado a uma intensa hidrodinâmica, a qual é capaz de retirar o material mais fino e o deposita-lo em locais mais calmos. Sendo estes os valores menos frequentes.

Os valores aproximadamente simétricos são também indicativos de uma hidrodinâmica relativamente alta. Por fim, a assimetria positiva a muito positiva ocorre de forma mais comum, com maior frequência particularmente na confluência entre os rios Tapajós e Amazonas, bem como próximo a confluência entre os rios Xingu e Amazonas, correspondendo as amostras (13, 14 e 15), nestes locais a hidrodinâmica é mais baixa do que nos casos anteriores, já que possuem em geral, mais influência fluvial.

A forma na qual os grãos são encontrados nos locais de deposição depende da forma inicial do grão, feições físicas e químicas, tipo de transporte, além de seu tempo de atuação, isso independentemente do tamanho da partícula (SUGUIO, 1980).

A tipologia dominante observada foi a “boleados brilhantes” (EL), apresentando médias superiores a 65% nas amostras analisadas. Isso indica que os fluidos aquosos atuaram como meio de transporte e gerador dessas feições (CAILLEUX, 1942 apud DIAS, 2004).

Os grãos de quartzo que foram transportados por processos de saltação ou rastejando no fundo do leito, de um modo geral, apresentam uma superfície polida e brilhante devido ao fato de que o agente de transporte (água) possuir uma viscosidade relativamente alta. Desta forma, os choques entre grãos são pouco energéticos (menos violentos). Outra característica que corrobora a passagem desses grãos por meio aquoso são as formas alongadas que em geral predominam sobre as demais (CAILLEUX, 1942 apud DIAS, 2004), (Figura 16).

Já os grãos que apresentam suas faces ainda preservadas, ou estão sob formas angulosas, foram considerados como sendo provenientes de uma introdução recente dentro do ambiente sedimentar, resultante de um curto período de transporte (CAILLEUX, 1942 apud DIAS, 2004).

Por fim e subordinadamente, os grãos que experimentaram transporte eólico geralmente apresentaram em sua superfície marcas remanescentes de colisões suficientemente energéticas que geraram fissuras e uma posterior liberação de pequenas porções destes (CAILLEUX, 1942 apud DIAS, 2004) (Figura 16).

## 8.1 PROVENIÊNCIA

Os dois grupos mais representativos ao longo da área estudada correspondem aos piroxênios e anfibólios que juntos perfazem em média por aproximadamente metade dos grãos contados por lamina. As prováveis proveniências são ligadas principalmente a rochas ígneas e subordinadamente metamórficas (MANGE; MAURER, 1992).

Hiperstênio é encontrado comumente em tanto rochas ígneas extrusivas quanto em intrusivas básicas e intermediárias (gabros, noritos, basaltos, andesitos e dacitos), ocorrendo em menores quantidades em rochas metamórficas (hiperstênio granulito e gnaisses). A augita é mineral muito comum em rochas ígneas ultramáficas e intermediárias, particularmente frequente em (gabros, doleritos, andesitos e basaltos), entretanto pouco expressiva em rochas metamórficas como (гнаisses e granulitos) (MANGE; MAURER, 1992).

A presença dos polimorfos de  $Al_2SiO_5$  (andaluzita, cianita e sillimanita) seria um indicativo de rochas metamórficas aluminosas, tendo a sillimanita como proveniente de (гнаisses e granulitos) produto de metamorfismo regional de alto grau, andaluzita típico mineral metamórfico encontrado em (xistos e gnaisses, além de rochas que sofreram metamorfismo de contato), por fim a cianita tendo como principais fontes (xistos, gnaisses e

granulitos). No entanto, a baixa proporção (não ultrapassando os 2% de média por amostra), sugere que as rochas metamórficas atuaram como fonte subordinada. Fato este, compatível com a pequena quantidade de grãos de rutilo ( $< 2\%$ ), que apesar de ocorrer em rochas ígneas, é pouco significativo, sendo frequentemente encontrado em rochas metamórficas, em especial aquelas de alto grau, (MANGE; MAURER, 1992).

O aumento da quantidade desses minerais a partir da amostra 16 pode ser indicativo da influência da Província Maroni-Itacaiúnas, a qual hospeda terrenos gnáissico-migmatíticos e granulíticos (TASSINARI; MACAMBIRA, 2000)

As variedades de zircão analisados sugerem uma provável predominância de fontes ígneas em relação às metamórficas, tendo em vista que 48% dos grãos correspondentes aos tipos morfológicos (Zr1 e Zr2) que representariam uma maior contribuição de rochas ígneas. As variedades de zircão (Zr3, Zr4 e Zr8) equivalente a 17,5% dos grãos sugerem que os mesmos tenham significativa contribuição de corpo granitóides e ortognaisses, já migmatitos e granulitos representariam (0,6%), correspondente ao (Zr6), (NASCIMENTO; GÓES, 2005).

A variedade (Zr9) que representa 30% da média total, que podem estar relacionados tanto a fontes metamórficas (metagabros, leucogranito, assim como rochas sedimentares e da crosta inferior), (CORFU et al., 2003.; MANGE; MAURER, 1992) como sedimentos reciclados (NASCIMENTO; GÓES, 2005).

As contribuições graníticas são bastante significativas, tendo em vista que cerca de 46% do total corresponde a variedade tipológica (Tu4), seguido por fontes pegmatíticas 38% (Tu2 e Tu3) e metamórficas 16% (Tu1). A abundância de turmalina arredondada nestes sedimentos sugere fontes sedimentares preexistentes, ou seja, uma reciclagem, corroborado pela presença de turmalinas arredondadas sobrecrecidas (Figura 27 C), (NASCIMENTO; GÓES, 2005).

Segundo Mapes (2009), alterações previsíveis são visíveis nas idades das populações de zircão, tendo em vista que o rio se move dos Andes para o Atlântico, no entanto distribuições de idade são altamente variáveis mesmo dentro de curtas distâncias, onde as fontes de sedimentos não apresentaram uma significativa mudança.

Assim, os grãos de zircões paleoproterozóicos e mais antigos, constituem uma proporção mais significativa no baixo curso do rio Amazonas do que a montante. Sendo que, nas proximidades da foz do Amazonas Rino et al. (2004), e encontraram apenas um único grão de zircão de idade Fanerozóica, havendo um predomínio de idades Paleoproterozóicas a Arqueanas.

Espectros para idades de areias coletadas no baixo curso do Rio Amazonas são caracterizadas pelo aumento da proporção de grãos Pré-Cambrianos, com idade superior a 1,5 Ga. Essa mudança é decorrente do acrescimento de areia de tributários cratônicos como o Rio Negro Mapes (2009). No trecho da área estudada por esse autor, onde ocorre o início da influência das marés, a proporção de idades Fanerozóicas, que é  $\geq 24\%$  para todas as amostras fluviais, cai para 12% próximo a Santarém, e a proporção de grãos do Neoproterozóico e início do Mesoproterozóico ou grãos detríticos mais antigos aumenta em relação aquelas amostras consideradas estritamente fluviais. Da mesma forma, Rino et al. (2004) encontraram sedimentos que continham menos de 1% de zircão Fanerozóico na foz do Rio Amazonas próximo a Macapá, embora a amostra tenha sido coletada próximo à foz do rio Vila Nova (Anauerapucu) e possa representar idades de sedimentos que tenham sido localmente derivadas.

Para o baixo curso do Rio Amazonas a composição e morfologia dos sedimentos quartzosos analisados por Franzinelli e Potter (1985), sugerem um aumento da proporção de detritos de origem cratônica, fato corroborado pelo aumento da proporção de grãos de zircão de idade Mesoproterozóica, tendo em vista que o sistema avança para leste. É provável que a maré tenha contribuído para o transporte de grãos de zircão mais velhos no trecho estudado neste TCC, indicado pelas idades de zircões andinas que são reduzidas no espectro de idade dos depósitos estuarinos.

Em geral, as proveniências no trecho do Rio Amazonas estudados estão indicados no bloco diagrama (Figura 30).

Figura 30- Bloco diagrama mostrando as prováveis áreas-fonte indicadas pelas setas.



## 9 CONCLUSÕES

A morfoscopia dos grãos de quartzo apresentou evidências de apoio as quais permitiram supor que o principal mecanismo de transporte experimentado pelos grãos, foi por meio fluvial, tanto do rio Amazonas como também de seus afluentes. Outro ponto sugerido é que o ambiente de deposição varia de calmo a ligeiramente agitado, correspondendo assim, a índices energéticos entre baixos a médios, talvez relacionado a sazonalidade.

Dentre as dezessete amostras analisadas o índice ZTR de Huber (1962), revelou um baixo grau de maturidade, sendo que 65% destas possuem uma superabundância de minerais instáveis. A preservação e persistência de minerais instáveis ao longo da área de estudo evidencia que o intemperismo químico não foi intenso o suficiente na área fonte e nos atuais depósitos para extingui-los, no entanto foi efetivamente suficiente para gravar em suas superfícies diversas texturas indicativas principalmente de corrosão.

Os maiores valores de ZTR remontam há um maior retrabalhamento no trecho inicial da área, conclusão reiterada pelos valores do índice. Os índices ZTR e ZTi contrapõem-se aos valores Est/ZTR+Est, tendo em vista que baixos valores deste índice caracterizam um ambiente onde a assembleia mineralógica sofreu um maior intemperismo (CORRÊA et al. 2008), culminando num enriquecimento de minerais resistentes como observado nos dados obtidos pelo índice ZTR.

Landim et al. (1983) constataram que a contribuição andina para os sedimentos depositados e transportados pelo rio Amazonas é mais importante somente no terço superior do rio, correspondendo as proximidades da fronteira entre Colômbia e Brasil. Pelas analogias realizadas entre os minerais aqui encontrados e as principais litologias da Província Amazônia Central (composta predominantemente por rochas ígneas, prováveis frutos do magmatismo Uatumã), sugere-se que essa foi quem mais contribuiu com a formação das assembleias de minerais pesados descritas ao longo do trecho do rio Amazonas estudado.

## REFERÊNCIAS

- ADDAD, J.E. *Minerais pesados: uma ferramenta para prospecção, proveniência, paleogeografia e análise ambiental*. São Paulo: Edição independente, 2001. 81p.
- ALMEIDA, F.F.; BRITO NEVES, B.B.; CARNEIRO, C.D.R. The origin and evolution of the South American Platform. *Earth Science Review*, v. 50, p. 77-111. 2000.
- ANDÒ, S. et al. Corrosion of heavy minerals during weathering and diagenesis: A catalog for optical analysis. *Sedimentary Geology*. v. 280, p. 165-178. 2012.
- ARCHER, A.W. Review of Amazonian depositional systems. Special Publication of the *International Association of Sedimentologists*, v. 35, 17-39. 2005
- BAGNOLD, R.A. *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes London*, Chapman and Hall. 1941. 265p
- BARROS, C.E et al. Distribuição e origem dos minerais detríticos pesados das areias praias holocênicas do litoral norte do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 38 n. 2, p. 319-335. 2008.
- BRITO NEVES, B.B. América do Sul: quatro fusões, quatro fissões e o processo acrescionário andino. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, p. 379-392. 1999.
- CAMPBELL Jr., K.E.; FRAILEY, C.D.; ROMERO-PITTMAN, L. The Pan-Amazonian Ucayli Peneplain, late Neogene sedimentation in Amazonia, and the birth of the modern Amazon River system. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 239, p.166-219. 2006.
- CAPUTO, M.V. *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of Northern Basins of Brazil*. Tese de Doutorado. Universidade da Califórnia, Santa Barbara, 1984. 582f.
- COUTINHO, L.F.C.; GONZAGA, F.G. *Evolução tectonossedimentar e termal da Bacia do Amazonas*. Belém. PETROBRAS/ DENOC. SIEX 130- 09470, 1994. 110p.
- CORRÊA, I.C.S.; AYUP-ZOUAIN, R.N.; WESCHENFELDER, J.; TOMAZELLI, L.J. Áreas Fontes dos Minerais Pesados e sua Distribuição sobre a Plataforma Continental Sul-brasileira, Uruguia e Norte-argentina. *Revista Pesquisas em Geociências*, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, RS. v. 35: p. 137-150. 2008.
- CORFU, F.; HANCHAR, J.M.; HOSKIN, P.W.O.; KINNY, P. Atlas of zircon textures. In: J.M. HANCHAR, P.W.O. HOSKIN (eds.) *Reviews in mineralogy & geochemistry*, Min. Soc. of Am. and Geoch. Soc., v. 53, p. 469-500. 2003.
- COSTA, A.R.A. *Tectônica Cenozóica e Movimentação Salífera na Bacia do Amazonas e suas Relações com a Geodinâmica das Placas da América do Sul, Caribe, Cocos e Nazca.* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002. 237f

CUNHA, F.M.B.; GONZAGA, F.G.; COUTINHO, L.F.C.; FEIJO, F. J. Bacia do Amazonas, *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 8, n.1, p. 47-55. 1994.

DALL'AGNOL, R.; COSTI, H.T.; LEITE, A.A.; MAGALHÃES, M.S.; TEXEIRA, N.P. Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. *Precambrian Research*, v.95, p. 9-39. 1999.

DIAS, J.A. *A análise sedimentar e os conhecimentos dos sistemas marinhos*. 2004.  
Disponível em: [http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks/Sedim/SedimF\\_Mfc\\_.pdf](http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks/Sedim/SedimF_Mfc_.pdf)>. Acessado em: 01 nov. 2012.

FIGUEIREDO, J.; HOORN, C.; VAN DER VEN, P.; SOARES, E. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: Evidence from the Foz do Amazonas Basin. *Geology*, v. 37, p. 19–622. 2009.

FRANZINELLI, E.; POTTER, P.E. Caracterização Petrográfica e Textural de Sedimentos Arenosos Recentes dos Rios da Bacia Amazônica. In: SIMP. GEOL. AMAZÔNICA, 1982, Belém. *Atas...* Belém, SBG, v. 1, p. 89-99. 1982.

FRANZINELLI, E.; PORTER, P.E. Petrology, chemistry and texture of modern river sands, Amazon river system: *Jour. Geology*, v. 91, p. 23-39. 1983.

FRANZINELLI, E.; POTTER, P.E. Areias Recentes dos Rios da Bacia Amazônica: Composições Petrográfica, Textural e Química. *Revista Brasileira de Geociências*, SBG, v. 15, n.3, p. 213-220. 1985.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petrol.*, v. 21, p. 3-26. 1957.

GALEHOUSE, J.S. Point-counting, In: CARVER, R.E. *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley-Interscience, New York, p. 385-407. 1971.

HOORN, C. Fluvial palaeoenvironments in the intracratonic Amazonian Basin (Early Miocene–early Middle Miocene, Colombia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 109, p.1–54. 1994.

HOORN, C.; GUERRERO, J.; SARMIENTO, G.A.; LORENTE, M. A. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene northern South America: *Geology*, v. 23, p. 237–240. 1995.

HUBERT, J.E. 1962. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the cross composition and texture of sandstones. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 32, n.3, p. 440-450. 1962.

KRUMBEIN, W.C. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 11, p. 64– 72. 1941.

KRYNINE P.D. The tourmaline group in sediments. *The Journal of Geology*, v.54, p. 65-87. 1946.

LANDIM, P.M.B.; BÓRIO, N. J.; WU, F.T.; CASTRO, P.R.M. Minerais Pesados Provenientes do Leito do Rio Amazonas. *Acta Amazônica*, v.13, p. 51-72. 1983.

LIHOU J.; MANGE-RAJETZKY M.A. Provenance of the Sardona Flysh, eastern Swiss Alps: example of high-resolution heavy mineral analysis applied to an ultrastable assemblage. *Sedimentary Geology*, v.105, p. 141-157. 1996.

MAPES, R.W. *Past and present provenance of the amazon river*. Tese de doutorado. University of North Carolina at Chapel Hill, 2009. 185f.

MANGE, M.A.; MAURER, H.F.W. *Heavy Minerals in Colour*. Chapman and Hall, London, 1992. 147p

MARTINS, L.R. *Recent Sediments and Grain-Size Analysis*. Gravel, CECO, Instituto de Geociências, UFRGS, v.1, p. 90-105. 2003.

MEADE, R.H. River-sediment inputs to major deltas. In: MILLIMAN, J.D., HAQ, B.U. (Eds.). *Sea-Level Rise and Coastal Subsidence*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishing, p. 63-85. 1996.

MENDES, A.C. *Litofácies e minerais pesados da Formação Alter do Chão (Cretáceo), região de Óbidos-PA, parte central da Bacia do Amazonas*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2010. 62f.

MORTON, A.C. Heavy mineral in provenance studies. In: ZUFFA G.G. (Ed.) *Provenance of Arenites*. Dordrecht, Germany: D. Reidel Pub. Co. 1985. p. 249-278.

\_\_\_\_\_. Stability of detrital heavy minerals in Tertiary sandstones of the North Sea Basin. *Clay Miner.* v. 19, p. 287- 308. 1984.

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.

\_\_\_\_\_. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, v. 124, p. 3-29. 1999.

\_\_\_\_\_. Stability of Detrital Heavy Minerals During Burial Diagenesis. v. 58, p. 215-245. In: MANGE, A.M.; WRIGHT, D.T. *Heavy minerals in use*. Developments in sedimentology, Elsevier B.V, 2007. 1271p.

MORTON, A.C., JOHNSON, M.J. Factors influencing the composition of detrital heavy mineral suites in Holocene sands of the Apure River drainage basin, Venezuela. In: Johnson, M.J., Basu, A. (Eds.), Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments. *Geol. Soc. Am., Spec. Pap.* v. 284, p.171-185. 1993.

NASCIMENTO, M.S.; GÓES, A.M. Distribuição estratigráfica e proveniência de minerais pesados das formações Ipixuna e Barreiras, região do rio Capim, sul da Sub-Bacia de Cameté. *Revista Brasileira de Geociências*, BRASÍLIA, v. 35, n. 1, p. 49-58. 2005.

- NÓBREGA, J.E.S.; SAWAKUSHI, A.O.; ALMEIDA, R.P. Minerais pesados das porções média e superior do Grupo Guaritas (Eocambriano, RS): considerações sobre a proveniência sedimentar. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 38, n. 3, p.554-565. 2008.
- NOGUEIRA, A.C.R. Guinada para o Atlântico. *Scientific America Brasil*, v. 1, p. 22-27. 2008.
- NORDIN, C.F. et al. Distribuição do sedimento do leito do Rio Amazonas- nenhuma mudança apreciável rio abaixo. *Acta Amazônica*, v.11, n. 4, p. 769-772. 1981.
- PANDEY, S.K.; SINGH, A.K.; HASNAIN, S.I. Grain-size distribution, morphoscopy and elemental chemistry of suspended sediments of Pindari Glacier, Kumaon Himalaya, India, *Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques*, v.47, p. 213-226. 2002
- PINDELL, J.L.; TABBUT, K.D. Mesozoic-Cenozoic Andean paleogeography and controls on hydrocarbon systems. In: TANKARD, J.A.; SUÁREZ SORUCO, R.; WELSINK, H.J. (eds.). *Petroleum Basins of South America*. AAPG Memoir 62, p. 101-128. 1995.
- PETTIJOHN, F.J. Persistence of heavy minerals and geologic age. *Journal of Geology*, v. 49, p. 610-625. 1941.
- PETTIJOHN, F.G.; POTTER, P.E.; SIEVER, R. *Sand and sandstones*. Springer Verlag, 1972. 618p.
- POTTER, P.E. The Mesozoic and Cenozoic paleodrainage of South America: a natural history: *Journal of South American Earth Sciences*: v. 10, p. 331-344. 1997.
- POWERS, M.C. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 23, p. 117-119. 1953
- PUPIN, J.P. Zircon and granite petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 73: p. 207-220. 1980.
- RINO, S.; KOMIYA, T.; WINDLEY, B.F.; KATAYAMA, I.; MOTOKI, A.; HIRATA, T. Major episodic increases of continental crustal growth determined from zircon ages of river sands; implications for mantle overturns in the Early Precambrian: *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, v. 146, p. 369-394. 2004,
- RODDAZ, M.; VIERS, J.; BRUSSET, S. BABY, P., HÉRAIL, G. Sediment provenances and drainage evolution of the Neogene Amazonian foreland basin. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 239, p. 57-78. 2005.
- SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; GAUDETTE, H.E; GROVES, D.I.; McNAUGHTON, N.J.; FLECHER, I.R.. New understanding of the Amazon Craton provinces, based on field work and radiogenic isotope data. *Gondwana Research*, v. 3, p. 453-488. 2000
- SCHOBENHAUS, C.; BRITO NEVES, B.B. Geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES J.H. (eds.) *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. Texto, mapas e SIG*. CPRM-Serviço Geológico do Brasil. p. 5-54, 2003.

SHEPARD F.P. *Submarine geology*. Harper and Row, New York, 1967. 517 p.

SIOLI, H. The Amazon and its main affluents: hydrography, morphology of the river courses, and river types, In SIOLI, H. Ed., *The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*: Junk Publishers, p. 127-165. 1984.

SOUZA-LIMA, W, Bacias sedimentares brasileiras – Bacias Paleozóicas. *Fundação paleontológica Phoenix*, Aracajú, v. 80, n. 7, p. 1-4. 2005.

SUGUIO, K. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blucher, 1973. 317p.

\_\_\_\_\_. *Rochas Sedimentares*. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 500p

SUTTNER L.J. Sedimentary Petrographic Provenances: an evaluation. *Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists*, Special Publication, v. 21, p 75-84. 1974.

TASSINARI, C.C.G. & MACAMBIRA, M.J.B. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, v. 22. p. 174-182. 1999.

TASSINARI, C.C.G.; BETTENCOURT, J.S.; GERALDES, M.C.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M. The Amazonian Craton. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; FILHO, A.T.; CAMPOS, D.A. (eds) *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro. p. 41-95. 2000.

TASSINARI C.C.G., MACAMBIRA M.J.B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. p.471-485. In: MANTESSO-NETO V., BARTORELLI A., CARNEIRO C.D.R., BRITO-NEVES B.B. de. 2004. *Geologia do Continente Sul-Americano*; evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. 573p.

TURNER, G.; MORTON, A.C. The effects of burial diagenesis on detrital heavy mineral grain surface textures, p. 393-412. 2007. In: MANGE, M.A., WRIGHT, D.T. (Eds.), *Heavy Minerals in Use*. Developments in Sedimentology Series, 58. Elsevier, Amsterdam. 2007. 1329p.

WANDERLEY FILHO, J.R.; TRAVASSOS, W.A.S.; ALVES, D.B. O diabásio nas bacias paleozóicas amazônicas - herói ou vilão? *Boletim Geociências da Petrobras*, v. 14, n. 1, p.177-184, nov./2005-maio/2006.

WANG, C.H.; KOMAR, P.D. The sieving of heavy minerals sands. *Journal of Sedimentology Petrology*, v. 55, p 479-482. 1985.

ZALÁN, P.V. Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. p.595-613, 2004. In: MANTESSA-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO-NEVES, B.B. (orgs.). *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, 2004. 573p.

# APÊNDICES

**APÊNDICE A- CONTAGEM DOS GRÃOS DE MINERAIS PESADOS DOS  
SEDIMENTOS DO RIO AMAZONAS EM PERCENTAGEM**

AMOSTRAS	Z	T	R	Anat	Brok	Tit	Sill	Ky	And	Est	Top	Gt	Ep	Zo	Act	Trem	Hb	Antof	Hy	Dy	Aug	TOTAL
AM-10-01	14,74	1,85	0,85	-	-	1,69	2,03	0,67	5,05	4,38	-	5,42	2,19	5,08	-	-	5,72	-	23,42	-	28,59	100
AM-10-02	68,73	12,99	3,62	-	-	-	0,31	1,16	-	10,87	0,31	-	0,23	-	-	-	0,62	-	0,31	-	0,85	100
AM-10-03	41,89	22,90	4,96	-	-	-	-	0,11	-	27,02	0,11	1,50	-	1,50	-	-	-	-	-	-	-	100
AM-10-04	4,23	2,57	0,44	0,20	0,11	0,76	1,97	0,30	1,03	1,03	0,11	3,80	1,41	6,04	0,57	0,10	26,22	-	21,26	-	29,15	100
AM-10-05	0,98	1,28	1,54	0,21	-	0,58	0,66	0,35	1,97	0,54	0,42	2,03	0,93	3,60	-	0,12	31,00	0,23	14,74	-	39,63	100
AM-10-06	0,43	1,82	1,84	0,43	-	0,14	0,85	0,56	1,94	1,55	0,14	2,28	1,42	2,26	0,42	-	33,36	-	12,66	-	38,46	100
AM-10-07	1,46	0,96	1,70	-	-	-	1,22	4,16	1,20	1,70	-	1,94	0,96	1,70	-	-	42,43	-	14,45	-	26,14	100
AM-10-08	60,50	11,34	7,03	-	-	-	-	0,88	-	13,80	-	1,00	0,34	-	-	-	0,46	-	1,80	-	2,84	100
AM-10-10	2,49	1,70	0,59	0,15	-	0,44	1,11	0,70	2,64	2,93	0,29	6,24	1,85	1,03	-	-	19,51	0,15	31,59	-	27,18	100
AM-10-11	8,99	5,91	0,63	-	-	0,72	2,39	0,72	1,02	3,97	0,95	5,45	0,95	1,04	-	0,16	24,16	0,23	20,22	-	23,42	100

<b>AMOSTRAS</b>	<b>Z</b>	<b>T</b>	<b>R</b>	<b>Anat</b>	<b>Brok</b>	<b>Tit</b>	<b>Sill</b>	<b>Ky</b>	<b>And</b>	<b>Est</b>	<b>Top</b>	<b>Gt</b>	<b>Ep</b>	<b>Zo</b>	<b>Act</b>	<b>Trem</b>	<b>Hb</b>	<b>Antof</b>	<b>Hy</b>	<b>Dy</b>	<b>Aug</b>	<b>TOTAL</b>
AM-10-13	1,97	1,62	0,23	0,23	-	-	1,74	0,47	0,93	1,62	0,23	3,94	1,74	3,48	-	-	39,55	1,04	14,05	-	28,19	100
AM-10-15	1,22	3,80	0,86	-	-	1,11	1,83	-	1,61	1,83	-	3,76	1,83	2,76	-	-	23,32	-	16,15	-	41,05	100
AM-10-16	3,66	4,96	0,97	-	0,17	1,27	2,81	1,44	0,97	1,44	0,47	5,64	1,44	6,14	1,06	0,50	33,68	-	20,59	0,47	15,14	100
AM-10-17	28,02	16,38	4,13	-	-	0,69	5,30	3,57	6,68	10,46	2,34	3,44	2,34	1,31	0,69	-	7,78	-	4,41	0,00	3,86	100
AM-10-18	6,63	0,60	-	-	-	0,60	3,33	6,66	2,41	2,38	0,30	4,22	2,41	2,38	0,60	-	29,36	-	20,81	0,00	18,53	100

## APÊNDICE B- PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DOS SEDIMENTOS

AMOSTRA	MEDIANA (Φ)	MÉDIA (Φ)	SELEÇÃO (Φ)	ASSIMETRIA (Φ)	CURTOSE (Φ)
AM-10-01	1,253	1,253	0,9869	0,4234	3,806
AM-10-02	1,235	1,298	0,6071	0,1692	0,9677
AM-10-03	1,371	1,44	0,4902	0,2165	1,148
AM-10-04	2,637	2,636	0,3988	-0,006358	1,001
AM-10-05	2,382	2,452	0,3775	0,2984	0,9350
AM-10-06	2,395	2,448	0,3775	0,2258	0,8232
AM-10-07	2,21	2,182	0,279	-0,1592	1,164
AM-10-08	1,592	1,598	0,4884	0,02397	0,9334
AM-10-10	2,018	1,96	0,4996	-0,1553	0,9468
AM-10-11	2,316	2,369	0,2942	0,3098	1,224
AM-10-12	2,823	2,711	1,773	-0,1553	1,46
AM-10-13	2,914	3,271	1,106	0,4712	2,291
AM-10-14	2,358	2,43	0,3463	0,3312	1,01
AM-10-15	2,312	2,375	0,2979	0,3386	1,345
AM-10-16	2,196	2,102	0,771	-0,09519	0,6502
AM-10-17	1,372	1,367	0,7265	-0,03838	0,9229
AM-10-18	3,373	2,467	1,704	0,8276	0,5167

APÊNDICE C- ÍNDICE ZTR, Est/ZTR+Est, ZTi e RELAÇÃO ENTRE  
MINERAIS OPACOS E NÃO OPACOS.

AMOSTRA	ZTR	Est/ZTR+Est	ZTi	OPACO/Ñ OPACO
AM-10-01	17,44	0,40	64,03	3,19
AM-10-02	85,34	0,26	83	3,61
AM-10-03	69,75	0,28	54,3	2,63
AM-10-04	7,25	0,41	48,5	0,54
AM-10-05	3,81	0,29	70,3	0,62
AM-10-06	4,09	0,49	23,4	0,69
AM-10-07	4,11	0,31	62,5	1,35
AM-10-08	78,87	0,16	81	1,88
AM-10-10	4,78	0,59	33,3	0,98
AM-10-11	15,53	0,40	55,2	0,59
AM-10-12	6,76	0,21	83,3	0,46
AM-10-13	3,83	0,44	62,8	0,83
AM-10-14	5,38	0,49	46,7	0,68
AM-10-15	5,87	0,34	21,9	0,87
AM-10-16	9,58	0,28	50,4	0,67
AM-10-17	48,52	0,21	56,3	5,73
AM-10-18	7,22	0,30	69,4	0,38