UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

FERNANDO WALLESON LOUZADA CASTELO

OS MINERAIS PESADOS DE SOLOS E SEDIMENTOS DA BAÍA DE CAXIUANÃ (AMAZÔNIA ORIENTAL).

BELÉM

2009

FERNANDO WALLESON LOUZADA CASTELO

OS MINERAIS PESADOS DE SOLOS E SEDIMENTOS DA BAÍA DE CAXIUANÃ (AMAZÔNIA ORIENTAL).

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.
Orientador: Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa

BELÉM

2009

FERNANDO WALLESON LOUZADA CASTELO

OS MINERAIS PESADOS DE SOLOS E SEDIMENTOS DA BAÍA DE CAXIUANÃ (AMAZÔNIA ORIENTAL).

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

Data de aprovação: ____/____/____
Conceito: _____
Banca examinadora:

_____
Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa - Orientador

_____
Prof. Dr. Werner Truckenbrodt

A minha avó

Que sempre acreditou em mim**.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido o dom da vida, e ter me dado a paz de espírito necessária para superar obstáculos.

A minha mãe, Maria do Socorro Louzada Castelo por sempre me incentivarem durante os estudos.

Ao Professor e Orientador Marcondes Lima da Costa pela ajuda na elaboração deste trabalho, por ter me ingressado e instruído no campo da pesquisa científica.

Aos demais professores do Instituto de Geociências pelos ensinamentos e/ou contribuições ao meu trabalho.

Ao IG/UFPA pela oportunidade de concretizar mais um importante passo na minha vida profissional e acadêmica.

Aos bibliotecários, funcionários e bolsistas da biblioteca do Instituto pelo apoio e dedicação na orientação e disseminação da informação e também pela atenção recebida.

E a todos os outros professores do Departamento pelos conhecimentos a mim transmitidos no decorrer do curso.

A minha esposa Carmem Lúcia M. S. Castelo, pela paciência e incentivo.

Aos meus avós, pelo apoio me dado em vida.

A todos os amigos e amigas que fiz ao longo do Curso, em especial a meu amigo Livaldo por sua sincera amizade e apoio.

“Queria ser como os outros, que
ri das desgraças da vida, ou
fingir estar sempre bem, ver as
belezas das coisas como um sol”

Renato Russo

RESUMO

A região de Caxiuanã está localizada em terras dos municípios de Melgaço e Portel (Estado do Pará), na Amazônia Oriental, entre a ilha do Marajó e o rio Xingu. Com intuito de investigar as relações e semelhanças entre os solos de Terra Preta Arqueológica (TPA), Latossolos Amarelos (LA) e sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã (SFBC), utilizou-se do estudo mineralógico e morfológico de seus minerais pesados. Os resultados obtidos são aqui apresentados e discutidos, constituindo o objeto dessa monografia. Após a separação e contagem dos minerais pesados foi verificado que tanto os solos de TPA quanto os LA apresentaram os mesmos minerais pesados: zircão, cianita, turmalina, andaluzita, estaurolita, hornblenda, rutilo, além de anatásio e titanita. Os minerais opacos identificados com a ajuda do MEV foram: ilmenita e hematita. As diferenças se dão em termos de percentual relativo que, por sua vez, resultam apenas de fatores relacionados à processos de dissolução após a formação dos solos e não à proveniência. Os sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã apresentaram os seguintes minerais: cianita, epidoto, turmalina, zircão, andaluzita, estaurolita, rutilo e titanita, monazita, como também em menor quantidade, muscovita, silimanita e hornblenda. Sob o MEV foram identificados os minerais opacos principais: hematita e ilmenita. A presença dessa assembléia representada, em sua maioria, por epidoto e aluminossilicatos, sugere que as fontes primárias dos sedimentos de fundo da baía de Caxiuanã eram constituídas principalmente de rochas pelíticas metamorfizadas, e secundariamente por rochas ígneas ácidas a intermediárias, que são encontradas ao longo do Cráton Amazônico.

Palavras-chave: Minerais pesados, Caxiuanã, Solos.

ABSTRACT

The region of Caxiuanã land is located in the municipalities and Melgaço Portel (Pará State) in the Eastern Amazon, between the island and Marajó the Xingu River. In order to investigate the relationships and similarities between the soils of Dark Earth Archaeological (TPA), Yellow Oxisols (LA) and bottom sediments of the Bay of Caxiuanã (SFBC), we used the morphological and mineralogical study of the mineral heavy. The results are presented and discussed as the object of this monograph. After separation and counting of heavy minerals was found that both the soil of TPA as the LA showed the same heavy minerals: zircon, kyanite, tourmaline, andalusite, staurolite, hornblende, rutile, and anatase and titanite. The opaque minerals identified with the help of SEM were: ilmenite and hematite. Differences occur in terms of percentage on which, in turn, result only from factors related to processes dissolved after the formation of the soil and not the source. Sediments of bottom of the Bay of Caxiuanã preented the following minerals: kyanite, epidote, tourmaline, zircon, andalusite, staurolite, and titanite rutile, monazite, but also in less extension, muscovite, sillimanite and hornblende. Under the SEM were identified the main opaque minerals: hematite and ilmenite. Soils and bottom sediments display the same mineral assemblage, being epidote found only in the bottom sediments. Possibly is epidote an unstable mineral against the soil formation. These mineral assemblages suggest that the primary sources of the bottom sediments of the Caxiuanã bay were mainly of metamorphosed pelitic rocks, and secondarily acid to intermediate igneous rocks, which constitute the Amazon Craton, and not alone the Caxiuanã surroundings soils.

Keywords: heavy minerals, Caxiuanã, soils.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Imagem do satélite TM mostrando Área de estudo marcada pelo polígono em vermelho, modificado de Costa *et al*, (2002)..... 18

Figura 02 – Perfil desenvolvido sobre TPA no sítio Raimundo em roçado (TPA/SR) (CARMO, 2008)..... 23

Figura 03 – Perfil desenvolvido sobre TPA no sítio Conceição com roçado (TPA/CR), (CARMO, 2008)..... 23

Figura 04 – Perfil desenvolvido sobre Latossolos Amarelos no sítio Raimundo sem roçado (LA/SR), (CARMO, 2008)..... 24

Figura 05 – Perfil desenvolvido sobre Latossolos Amarelos no sítio Martinho com roçado (LA/CR) (CARMO, 2008)..... 24

Figura 06 – Distribuição da granulometria no diagrama areia-silte-argila para o perfil T1 (TPA)..... 30

Figura 07 – Distribuição da granulometria no diagrama areia-silte-argila para o perfil T3 (TPA)..... 30

Figura 08 – Distribuição da granulometria no diagrama areia-silte-argila para o perfil T2 (LA). 33

Figura 09 – Distribuição da granulometria no diagrama areia-silte-argila para o perfil T4 (LA). 33

Figura 10 – Distribuição da granulometria no diagrama areia-silte-argila para os sedimentos de fundo da baía de Caxiuanã..... 36

Figura 11 – Distribuição hidrodinâmica dos sedimentos de fundo da baía de Caxiuanã..... 36

Figura 12 – Distribuição areal dos histogramas de granulometria dos sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã. 37

Figura 13 – Distribuição dos minerais pesados encontrados no perfil T1 (TPA)..... 39

Figura 14 – Distribuição dos minerais pesados encontrados no perfil T3 (TPA)..... 39

Figura 15 – Distribuição dos minerais pesados encontrados no perfil T2 (LA)..... 40

Figura 16 – Distribuição dos minerais pesados encontrados no perfil T4 (LA)..... 40

Figura 17 – Grãos de zircões representativos dos três grupos: (A) zircão prismático com intrusões de minerais avermelhados; (B) zircões zonados, já com um grau de arredondamento superior a (A) o que mostra que foi bastante transportado; os zircões do tipo (C) se mostram com uma forma menor mais arredondada em forma de lagrima, feições características de compactação..... 41

Figura 18 – Imagem de grão de zircão e respectiva análise química qualitativa (A) e

(B) (análise de MEV/SED)..... 41

Figura 19 – Grão de cianita angulosos, tendo ao lado uma cianita vista em MEV mostrando direções de clivagem e feições de desgaste químico na borda. Ao lado respectiva analise química obtida com MEV/SED..... 42

Figura 20 – As turmalinas (A) e (B) representam o primeiro grupo e a turmalina (C) o segundo. (A) tem cor verde acastanhada e mesmo apresentando forma parcialmente subédrica já não tem seu característico habito prismática, a turmalina (B) tem cor azul e um alto grau de arredondamento; a turmalina (C) se mostra prismática parcialmente arredondada, com inclusões fluidas..... 43

Figura 21 – Imagem de grão de turmalina (A) ao MEV/SED, mostrando desgaste químico nas bordas e ao seu lado a análise química obtida com MEV/SED..... 43

Figura 22 – Estaurolita de cor amarelada (A) ao lado de uma imagem observada ao MEV/SED (B) e respectiva analise química obtida com MEV/SED..... 44

Figura 23 – Rutilo vermelho subarredondado ao lado de dois grãos observados ao MEV e respectiva analise química obtida com MEV/SED..... 44

Figura 24 – Grãos de hornblendas arredondadas (A e B) sob o microscópio óptico, grãos de hornblenda sob MEV (C), e ao lado direito observa-se a analise química obtida com MEV/SED..... 45

Figura 25 – Andaluzita com inclusões de minerais opacos..... 45

Figura 26 – Grãos de ilmenita sob MEV/SED e respectiva analise química qualitativa..... 46

Figura 27 – Magnetita vista ao MEV/SED e sua respectiva analise química qualitativa..... 46

Figura 28 – Distribuição média dos minerais pesados na fração fina dos sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã..... 48

Figura 29 – Distribuição média dos minerais pesados na fração grossa dos sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã..... 48

Figura 30 – Distribuição areal dos cinco principais minerais pesados, encontrados na fração fina nos sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã..... 49

Figura 31 – Distribuição areal dos cinco principais minerais pesados, encontrados na fração fina nos sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã..... 50

Figura 32 – Grãos de zircão representativos dos dois grupos: em (A e B) o zircão prismático com inclusões de minerais avermelhados; em (C e D) vemos zircões zonados, já com um grau de arredondamento superior a (A e B) o que mostra que foi bastante transportado, como também uma cor mais escura que os primeiros..... 51

Figura 33 – Zircãos (A) e respectiva análise química qualitativa (B) (análise de MEV/SED).... 51

Figura 34 – Diferentes formas de grãos de cianitas encontrados nos SFBC..... 52

Figura 35 – Grão de cianita ao MEV mostrando direções de clivagem e feições de desgaste químico; ao lado respectiva analise química obtida com MEV/SED..... 52

Figura 36 – As turmalinas (A, B e C) representam o primeiro grupo constituído de grãos bem arredondados, enquanto (D e E) representam as turmalinas formadas por grãos alongados e bordas arredondadas..... 53

Figura 37 – Imagem de grão de turmalina (A) ao MEV/SED, mostrando desgaste químico nas bordas e ao seu lado a análise química obtida com MEV/SED..... 53

Figura 38 – Epidoto verde alguloso ao lado de dois grãos observados ao MEV e respectiva analise química obtida com MEV/SED..... 54

Figura 39 – Estaurolita de cor amarelada (A) ao lado de uma imagem observada ao MEV/SED (B) e respectiva analise química obtida com MEV/SED..... 54

Figura 40 – Rutilo vermelho subarredondado ao lado de um grão observado ao MEV e respectiva analise química obtida com MEV/SED..... 55

Figura 41 – Andaluzita subarredondado ao lado de um grão observado ao MEV e respectiva analise química obtida com MEV/SED..... 55

Figura 42 – A biotita mostrando-se em forma de placas tanto ao microscópio ótico como ao MEV e respectiva analise química obtida com MEV/SED..... 56

Figura 43 – A monazita mostrando-se em forma de grão alongados bastante arrendados tanto ao microscópio ótico como ao MEV e respectiva analise química obtida com MEV/SED..... 56

Figura 44 – Titanita vista ao microscópio ótico mostra seu relevo alto e bastante fraturada..... 57

Figura 45 – As variedades de ilmenita encontradas ao MEV e respectivo espectro de análise por MEV/EDS..... 58

Figura 46 – Grãos de hematitas observadas sob MEV com arredondadas..... 58

LISTA DE TABELAS

Tabela1 – Resultados de análise granulométrica dos solos de Terra Preta Arqueológica (TPA)..... 29

Tabela 2 – Resultados de análise granulométrica dos Latossolos Amarelos (LA)..... 32

Tabela 3 – Resultados de análise granulométrica dos sedimentos da baía de Caxiuanã (SFBC)..... 35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FNC	Floresta Nacional de Caxiuanã
TPA	Terra Preta Arqueológica
LA	Latossolos Amarelos
SFBC	sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã
MPEG	Museu Paraense Emílio Goeldi
UFPA	Universidade Federal do Pará
LA/SR	Latossolos Amarelos sem roçado
LA/CR	Latossolos Amarelos com roçado

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**.....	16
1.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSO	17
2	GEOLOGIA E SOLOS DA ÁREA.....	19
2.1	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	19
2.2	ASPECTOS CLIMÁTICOS E VEGETAÇÃO.....	20
2.3	ASPECTOS POPULACIONAIS.....	20
3	**OBJETIVOS.**.....	21
3.1	OBJETIVO GERAL.....	21
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
4	**MATERIAIS E MÉTODOS.**.....	22
4.1	CAMPO.....	22
4.1.1	**Coleta dos solos de terra preta arqueológica (TPA) e Latossolos Amarelos (LA).**.....	22
4.1.2	**Coleta dos sedimentos da baía de Caxiuanã.**.....	25
4.2	LABORATÓRIO.....	25
4.2.1	**Separação granulométrica.**.....	25
4.2.2	**Separação e identificação dos minerais pesados.**.....	26
4.2.3	**Análise com auxílio da microscopia eletrônica de varredura (MEV/SED).**.....	27
5	**RESUTADOS.**.....	28
5.1	ASPECTOS GRANULOMÉTRICOS.....	28
5.1.1	**Solos tipo terra preta arqueológica (TPA).**.....	28
5.1.2	**Latossolos Amarelos (LA).**.....	31
5.1.3	**Sedimentos de fundo da baía de Caxiuanã (SFBC).**.....	34
5.2	MINERAIS PESADOS.....	38
5.2.1	**Minerais pesados dos solos de TPA e LA.**.....	38
5.2.1.1	Zircão.....	41
5.2.1.2	Cianita.....	42
5.2.1.3	Turmalina.....	42
5.2.1.4	Estaurolita**.**.....	43
5.2.1.5	Rutilo.....	44
5.2.1.6	Anfibólio.....	44

5.2.1.7 Andaluzita..... 45
5.2.1.8 Minerais pesados opacos dos solos de TPA e LA..... 46
5.2.2 **Minerais pesados dos sedimentos de fundo da Baía de Caxiuanã.** 47
5.2.2.1 Zircão..... 51
5.2.2.2 Cianita..... 52
5.2.2.3 Turmalina..... 53
5.2.2.4 Epidoto..... 54
5.2.2.5 Estaurolita..... 54
5.2.2.6 Rutilo..... 55
5.2.2.7 Andaluzita..... 55
5.2.2.8 Biotita..... 56
5.2.2.9 Monazita..... 56
5.2.2.10 Titanita..... 57
5.2.2.11 Minerais pesados opacos dos sedimentos de fundo da baía de Caxiuanã..... 58
6.0 **DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.**..... 59
6.1 PROVENIÊNCIA..... 59
6.2 MATURIDADE DOS SEDIMENTOS..... 60
7 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**..... 61

1 - INTRODUÇÃO.

A região de Caxiuanã está localizada em terras dos municípios de Melgaço e Portel (Estado do Pará), na Amazônia Oriental, entre a ilha do Marajó e o rio Xingu. Neste trabalho, entende-se por região de Caxiuanã a baía homônima, como área central, e o seu entorno a Floresta Nacional de Caxiuanã (FNC).

A baía de Caxiuanã é uma ria interior do rio Anapu, alongada norte-sul, tendo em sua porção mais expressiva, cerca de 8 km de largura e 40 km de extensão, sendo no cenário regional um dos principais corpos de água doce, comunicando-se com outras baías interiores menores como as de Melgaço e Portel, que também representam rias interiores, e que por sua vez se correlacionam com outras manifestações aquosas de grande porte, de similar conformação, como o sistema rio Pará/baía de Marajó e desembocadura do rio Tocantins a leste e o leito semi-afogado do rio Xingu a oeste (COSTA *et al* 2002).

As águas da baía de Caxiuanã são de cor escura (negra à esverdeada), transparentes até 1 m de profundidade, mas ricas em material algal e ilhas de vegetais flutuantes. A lâmina de água é geralmente delgada, variando conforme as estações climáticas (época chuvosa e não chuvosa) entre 1,2 a 9 m. A baía é contornada por terras firmes e alagadas, cobertas por mata densa de terra firme e de áreas inundadas, além de vegetação flutuante, característica da *hylaea* amazônica. Grande parte da drenagem que deságua na baía, também tem natureza de microrias afogadas pela própria baía (COSTA *et al*, 1996).

A Floresta Nacional de Caxiuanã (Flona-Caxiuanã) conta uma ampla distribuição de sítios com solos tipo Terra Preta Arqueológica (TPA) que ocupam as partes mais altas da paisagem. As Terras Pretas formaram-se, principalmente, sobre Latossolos Amarelos desenvolvidos de sedimentos lateríticos maturos e imaturos de natureza caulinítica da Formação Alter do Chão (COSTA *et al*, 2002).

A relação destas terras pretas com a ocupação pré-histórica é indicada pela grande abundância de fragmentos cerâmicos e ainda artefatos líticos. A cor negra é devido à matéria orgânica, que nas TPA's de Caxiuanã é de 7% em média, enquanto nos Latossolos Amarelos da Amazônia não ultrapassa 2% (FALESI, 1984).

Os elementos Ca, Mg, Mn, P, Zn e C, são relativamente elevados nas TPA's, quando comparados com solos amazônicos, tornando-as agronomicamente férteis (KERN, 1988, KERN, 1996).

Com intuito de investigar as relações e semelhanças entre os solos de Terra Preta Arqueológica (TPA), Latossolos Amarelos (LA) e sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã (SFBC), utilizou-se do estudo mineralógico e morfológico de seus minerais pesados. Os resultados obtidos são aqui demonstrados e discutidos, constituindo o objeto dessa monografia.

1.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO.

A Floresta Nacional de Caxiuanã (FNC) e a baia homônima, estão situadas na porção ocidental do estado do Pará nos municípios de Portel e Melgaço, a oeste de Belém e distante desta à 400 km (figura 1). Nesta região está instalada a Estação Científica Ferreira Pena, que ocupa 10% da área da Floresta, foi criada pelo Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), que apóia projetos de pesquisas científicas multidisciplinares desenvolvidas por pesquisadores do próprio museu e de outras instituições nacionais, como a UFPA, Instituto Evandro Chagas e instituições estrangeiras.

O acesso à região é a partir da cidade de Belém, através de barcos e navios ou avião, até a cidade de Breves, e de Breves a Caxiuanã é feito apenas por barco ou voadeiras.

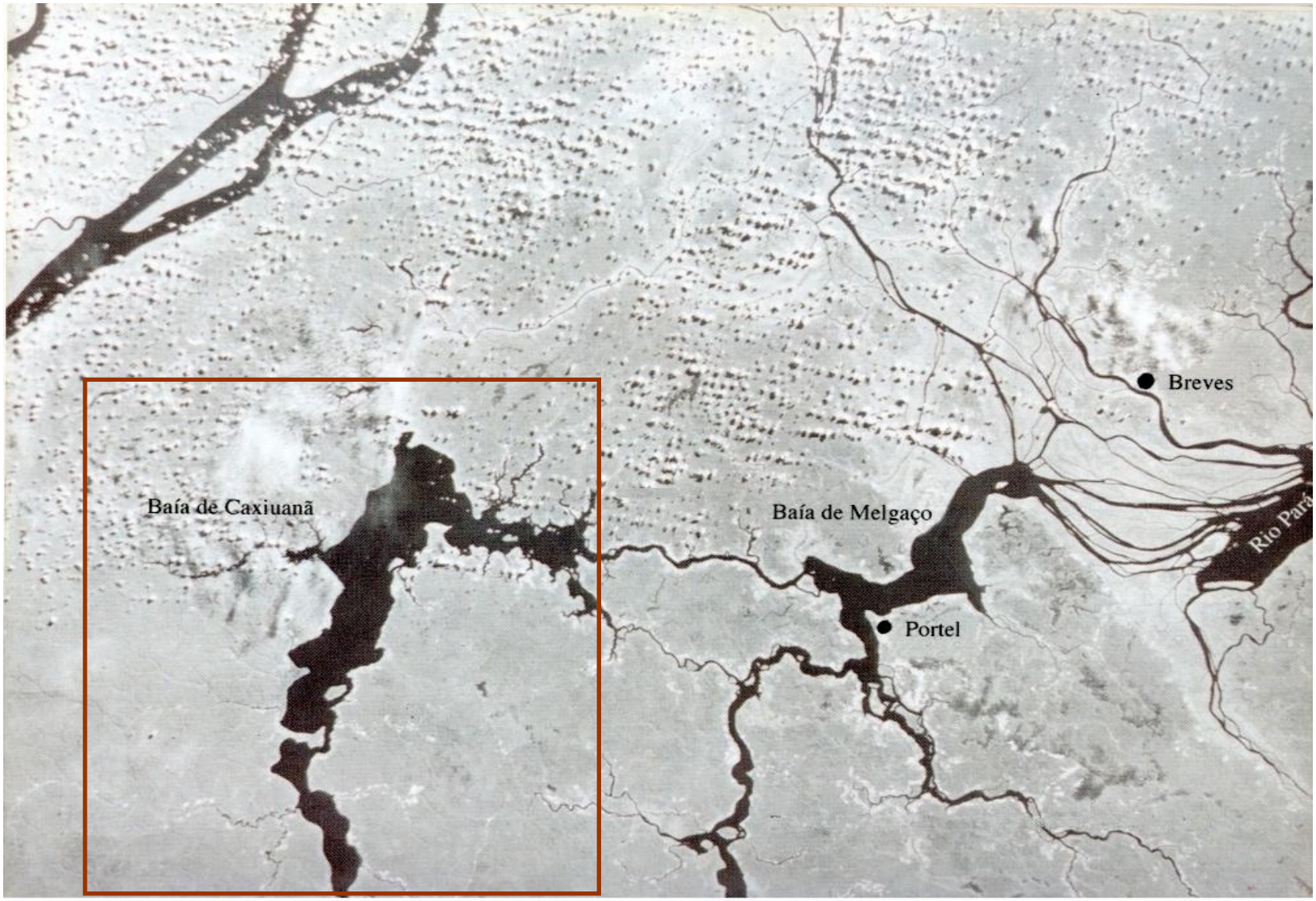

Figura 1 – Imagem do satélite TM mostrando Área de estudo marcada pelo polígono em vermelho, modificado de Costa *et al*, (2002).

2 – GEOLOGIA E SOLOS DA ÁREA.

A região de Caxiuanã é formada por sedimentos cretáceos da Formação Alter do Chão lateritizados e truncados ao nível do horizonte pálido caulínicos, constituindo tanto o relevo mais acidentado, com morros ondulados e quase-platôs, bem como as áreas baixas (COSTA *et al,* 2002).

A região está parcialmente coberta por sedimentos areno-argilosos amarelos, que poderiam ser comparados a Formação Barreiras, estes geralmente representam Latossolos Amarelos alóctones e autóctones depositados sobre o Alter do Chão (COSTA *et al*, 2002).

Os Latossolos Amarelos são caracterizados pela baixa fertilidade natural e baixa saturação de bases em um perfil profundo, são envelhecidos, ácidos e permeáveis (VIERA, 1971).

Ocorrem solos hidromórficos gleyzados desenvolvidos sobre sedimentos recentes, fortemente ácidos podendo ser neutros ou alcalinos, textura argilosa (COSTA, 2002). Perfis lateríticos imaturos se instalaram sobre o Alter do Chão truncado e sobre possível Formação Barreiras.

Os latossolos se formaram sobre os perfis lateríticos imaturos, sobre os maturos completos e truncados e foram parcialmente transportados para encostas e baixadas.

2.1 – ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.

Geomorfologicamante a região de Caxiuanã está situada no compartimento morfotectônico Gurupá, da calha do rio Amazonas, limitando-se a leste com o compartimento Marajoara e, a oeste, com o Baixo-Tapajós. Na porção oeste da baía de Caxiuanã o relevo possui interflúvios extensos e tabulares como divisor do rio Anapu- baía de Caxiuanã e rio Xingu. Ao norte os terrenos são baixos, alagados, com furos, retilíneos e sinuosos e à leste os terrenos são mais baixos do que na margem oeste, entretanto são tabulares (COSTA *et al,* 2002).

2.2 – ASPECTOS CLIMÁTICOS E VEGETAÇÃO.

Dentro da classificação Köppen, a região de Caxiuanã é do tipo Am_i, sendo esta de clima tropical quente/úmido e chuvoso, sem estação fria. As temperaturas médias mais baixas ocorrem nos meses de janeiro a março, raramente atinge 15 ºC, enquanto os meses mais quentes são outubro, novembro e dezembro com média acima de 27 ºC e raramente ultrapassa 34 °C. A precipitação média anual é de 1500 mm (LISBOA & SILVA, 2001).

A cobertura vegetal em Caxiuanã é bem diversificada, representados por: florestas de terra firme, ocupando 85% da área; florestas de inundação habitadas por florestas de várzea, pobres em sedimentos. Nos rios mais internos que quase não há flutuação do nível, a vegetação exposta a uma alagação de caráter mais permanente, formando os igapós; vegetação residual e abundante vegetação aquática (LISBOA & SILVA, 2001).

2.3 – ASPECTOS POPULACIONAIS.

A região de Caxiuanã apresenta baixa densidade populacional representada por caboclos, resultantes da miscigenação de índios, europeus e escravos africanos (LISBOA & SILVA, 2001).

3 – OBJETIVOS

3.1 – OBJETIVO GERAL.

Identifica e caracterizar as principais assembléias de minerais pesados encontrados nos dos sedimentos de fundo da Baía de Caxiuanã (SDBC), solos de Terra Preta Arqueológica (TPA) e Latossolos Amarelos (LA), visando o reconhecimento a fonte primária de suas principais litologias e, o entendimento dos processos que influenciaram na geração destes sedimentos.

3.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Identificar e quantificar os principais minerais pesados presente nos sedimentos de fundo da Baía de Caxiuanã (SDBC), solos de Terra Preta Arqueológica (TPA) e Latossolos Amarelos (LA), como também suas formas, grau de arredondamento e principais assembléias.

- Tentar determinar uma possível proveniência dos sedimentos de fundo da Baía de Caxiuanã (SDBC), solos de Terra Preta Arqueológica (TPA) e Latossolos Amarelos (LA), como também tentar entender sua granulometria e sistema deposicional.

4 – MATERIAIS E MÉTODOS.

Este trabalho foi dividido em duas partes: uma de campo onde foram coletados os sedimentos da baía de Caxiuanã solos de Terra Preta Arqueológica (TPA) e Latossolos Amarelos (LA), e uma segunda mais laboratorial onde se analisou estes sedimentos.

4.1 – CAMPO.

4.1.1 – **Coleta dos solos de terra preta arqueológica (TPA) e Latossolos Amarelos (LA).**

Foram selecionados dois sítios com TPA com e sem cultivar e suas áreas adjacentes, totalizando assim quatro pontos de estudo: sítio Raimundo com TPA e sem roçado (TPA/SR) e sua área adjacente (AD/SR), sítio Conceição com TPA e com roçado (TPA/CR) e roçado Martinho sem TPA (AD/CR). Assim obtiveram-se quatro trincheiras ou perfis de solo.

As amostras foram coletadas em cada horizonte dos perfis de solos com TPA com e sem roçado (TPA/CR e SR), assim como em Latossolos Amarelos (LA/SR e CR), totalizando quatro perfis (figuras 2, 3, 4 e 5).

Todas as amostras (26 amostras) foram embaladas em sacos plásticos e mantidas sob ventilação, e transportadas até ao laboratório. A coleta foi realizada por Marciléia do Carmo durante os trabalhos de campo de seu doutorado.

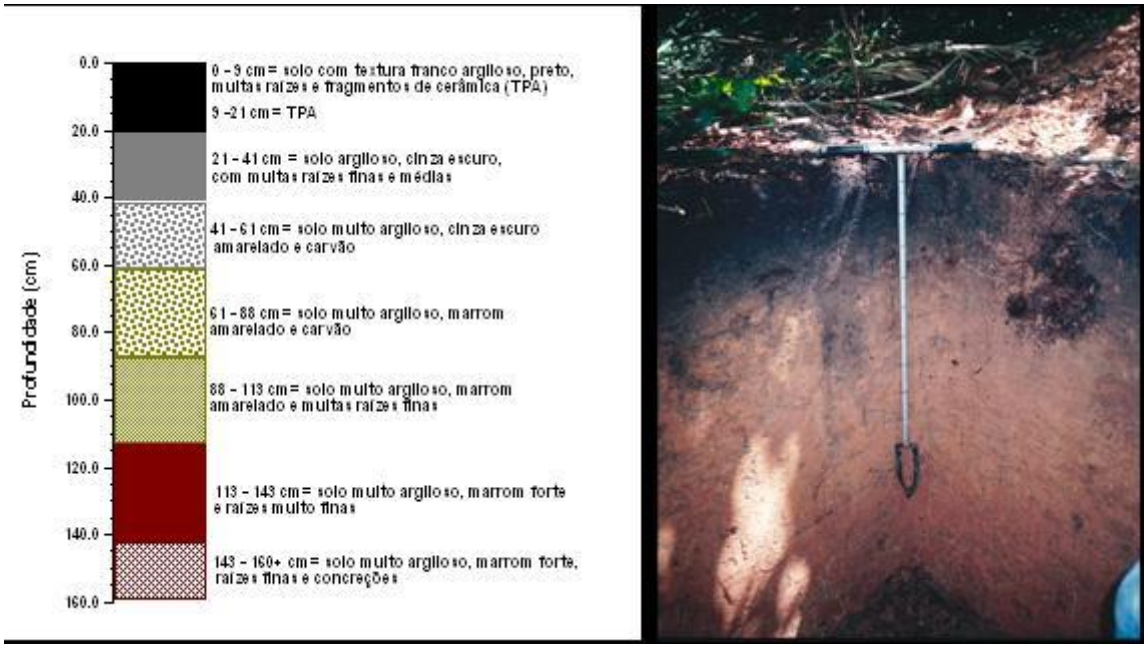

Figura 2 – Perfil desenvolvido sobre TPA no sítio Raimundo em roçado (TPA/SR) (CARMO, 2008).

Figura 3 – Perfil desenvolvido sobre TPA no sítio Conceição com roçado (TPA/CR), (CARMO, 2008).

Figura 4 – Perfil desenvolvido sobre Latossolos Amarelos no sítio Raimundo sem roçado (LA/SR), (CARMO, 2008).

Figura 5 – Perfil desenvolvido sobre Latossolos Amarelos no sítio Martinho com roçado (LA/CR) (CARMO, 2008).

4.1.2 – Coleta dos sedimentos da baía de Caxiuanã.

A amostragem de fundo foi realizada com o propósito de definir a natureza do fundo, a quantidade de minerais ou realizar análises de detalhe. Para a definição dos pontos de amostragens foi levado em conta o espaçamento entre amostras. As amostras foram coletas por Bruno Carneiro.

Em cada estação foram coletados aproximadamente 1 kg de amostra de sedimento de fundo, com um amostrador van Veen (BICUDO & BICUDO, 2004), do MPEG. Estas amostras foram nomeadas pela ordem de coleta.

4.2 – LABORATÓRIO.

A fase de laboratório inclui a separação granulométrica das amostras, a confecção das laminas de minerais pesados, o estudo sob microscópio ótico e eletrônico de varredura dos minerais pesados.

4.2.1 – Separação granulométrica.

A separação granulométrica foi realizada no laboratório de sedimentologia da Universidade Federal do Pará (UFPA) e no laboratório de solos do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG).

As amostras foram quarteadas e pesadas (cerca de 200 g para cada amostra), com objetivo de facilitar os cálculos envolvidos na composição granulométrica.

As frações areia, silte e argila foram separadas com a utilização em meio úmido em uma peneira de abertura 0,062 mm, para retirar a fração areia.

O material úmido restante com silte e argila foram centrifugados a 1000 rpm.Nesta velocidade o silte se concentra no fundo do recipiente e argila continua

em suspensão, a argila foi descartada e o silte colocado em um recipiente de cerâmica e levado a estufa a uma temperatura de 100 ºC sendo depois pesado. Subtraindo-se o peso do silte e da areia do peso inicial temos então o peso da fração argila. A separação granulométrica da areia consistiu em passar à mesma em um jogo de peneiras com diâmetro variando de 2 mm a 0,062 mm.

Os dados obtidos geraram uma tabela de variação granulométrica (tabela 1 e 2), estes resultados foram plotados e dois diagramas triangulares (área x silte x argila) foram obtidos, o primeiro para verificar o tipo de sedimento e o segundo para a hidrodinâmica de deposição das amostras.

4.2.2 – Separação e identificação dos minerais pesados.

Para a separação dos minerais pesados foram usados dois intervalos granulométricos: a fração grossa no intervalo de 0,250 mm e 0,125 mm e a fração fina, no intervalo de 0,125 mm a 0,062 mm.

Para concentrar os minerais pesados foi utilizado bromofórmio ($CHBr_3$), segundo os métodos indicados por SUGUIO, (1973).

Na confecção das lâminas adotou-se o seguinte procedimento: o material foi homogeneizado, em seguida foi realizada a limpeza das lâminas e das lamínulas com álcool de uso doméstico, após isso, as lâminas foram devidamente etiquetadas com suas respectivas simbologias e colocadas sobre a bancada do laboratório. Depois da aplicação do bálsamo do Canadá, os minerais foram distribuídos sobre as lâminas com o auxílio de um pequeno bastão de metal. Finalmente foram colocadas as lamínulas e esperou-se cerca de 12 horas para que o conjunto ficasse seco.

A investigação ótica foi realizada no Laboratório de Gemologia da UFPA, onde foram utilizados um microscópio da marca ZEISS, modelo AXIOLAB POL e, uma câmera fotográfica da marca FUJITSU. O reconhecimento dos minerais foi feito com base em suas propriedades óticas, tais como: cor, birrefringência, sinal de elongação, ângulo 2V e cor de interferência, aliadas à critérios morfológicos como: presença ou não de clivagem, hábito, fratura e ângulo entre clivagens. Com intuito de otimizar as descrições, optou-se pelos termos “grossa” para os grãos presentes

nas frações entre 0,125 –0250 mm, e “fina” para grãos contidos no intervalo de 0,062 a 0,125 mm.

4.2.3 – Análise com auxílio da microscopia eletrônica de varredura (MEV/SED).

O estudo em microscopia eletrônica de varredura (MEV/SED) foi realizado em algumas variedades de minerais transparentes não opacos e opacos dos quatro perfis. As análises (imagens e determinações químicas) foram realizadas em pelo menos 42 grãos de cada perfil. Foram consideradas também de possíveis inclusões ou fases poliminerálicas contidas em micro fragmentos, como também, a identificação dos minerais opacos presentes nas amostras.

As análises foram realizadas com auxílio de equipamento LEO ZEISS modelo 1530, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará. O procedimento adotado na preparação das amostras envolveu a seleção de grão em uma lupa binocular, a deposição deste sobre uma fita dupla-face, e depois em um platô de alumínio. Depois de montadas em seus respectivos suportes, os grãos foram metalizados com carbono e posteriormente analisados a uma diferença de potencial de 20,0 KV.

5 – RESUTADOS

5.1 - ASPECTOS GRANULOMÉTRICOS.

5.1.1 - Solos tipo terra preta arqueológica (TPA).

TPA/SR – Foi nomeado de T1 e apresenta na base do perfil uma granulometria argilo-siltosa, possuindo uma fraca seleção, uma assimetria negativa, a mesma possui uma curtose platicúrtica (T1B4). Em direção ao topo do perfil temos um aumento na granulometria passando a areno-siltosa, a assimetria torna-se positiva e a curtose passa a ser mesocúrtica (T1A1) (Figura 6).

TPA/CR – Foi nomeado de T3 e apresenta na base do perfil uma granulometria argilo-siltosa, possuindo uma fraca seleção, uma assimetria negativa, a mesma possui uma curtose platicúrtica (T3B4). Em direção ao topo do perfil temos um aumento na granulometria passando a areno-siltosa, a assimetria torna-se positiva e a curtose passa a ser mesocúrtica (T3A1) (Figura 6).

Tabela1 – Resultados de análise granulométrica dos solos de Terra Preta Arqueológica (TPA).

Amostras	AREIA (milímetros)						SILTE	ARGILA	Total	Peso
	> 2	2 - 1	1 – 0,5	0,5 – 0,25	0,25 – 0,125	0,125 – 0,062			%	(g)
T1A1	0,39	1,40	3,93	13,42	21,42	17,76	25,76	15,92	100	200
T1A2	0,59	1,53	4,95	15,50	25,29	18,55	25,35	8,24	100	200
T1AB	0,45	1,67	5,19	11,13	16,25	12,30	27,25	25,76	100	200
T1BA	4,61	2,02	4,83	10,36	7,50	9,66	20,95	40,07	100	200
T1B1	1,09	1,43	3,01	6,53	10,00	8,00	31,66	38,28	100	200
T1B2	0,85	1,88	3,48	6,89	11,20	8,06	25,62	42,02	100	200
T1B3	0,70	1,45	3,45	5,49	7,49	6,99	24,51	49,92	100	200
T1B4	0,98	1,38	2,94	5,30	8,24	7,26	22,62	51,28	100	200
T3A1	1,76	7,02	16,88	21,67	18,84	11,40	19,19	3,24	100	200
T3A2	2,09	5,00	9,00	18,03	18,65	12,26	24,91	10,06	100	200
T3AB	1,00	3,04	6,21	10,67	11,60	8,09	17,57	41,82	100	200
T3BA	1,42	3,25	4,18	6,91	8,03	4,92	18,71	52,58	100	200
T3B1	0,36	2,38	5,18	12,48	11,66	8,67	23,62	35,65	100	200
T3B2	0,27	1,69	5,75	8,11	15,21	6,76	20,55	41,66	100	200

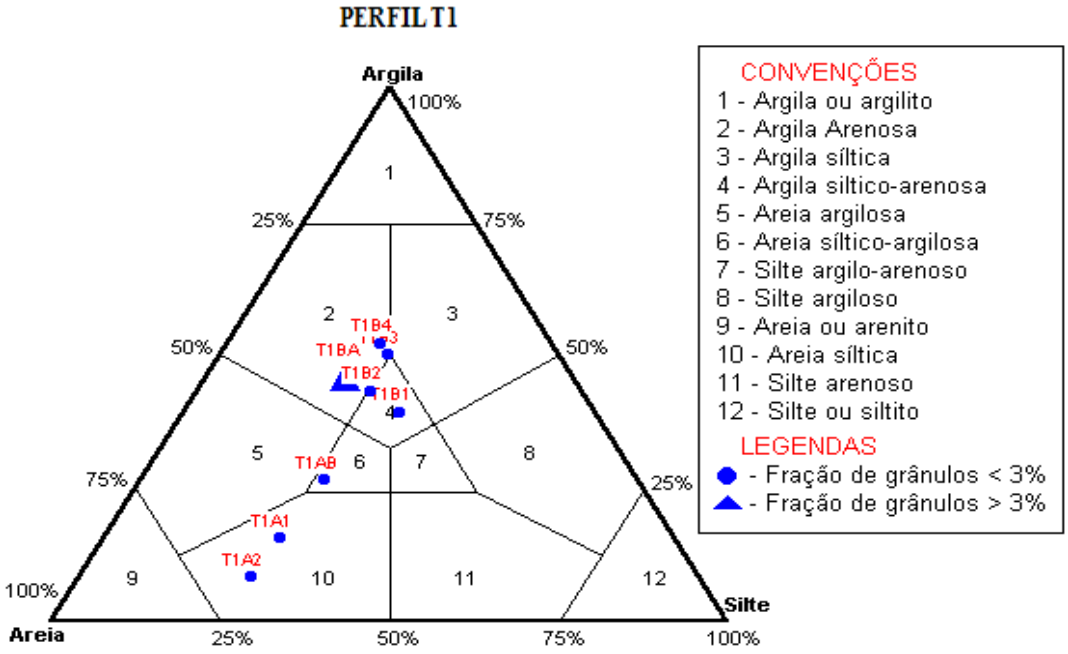

Figura 6 – Distribuição da granulometria no diagrama areia-silte-argila para o perfil T1 (TPA).

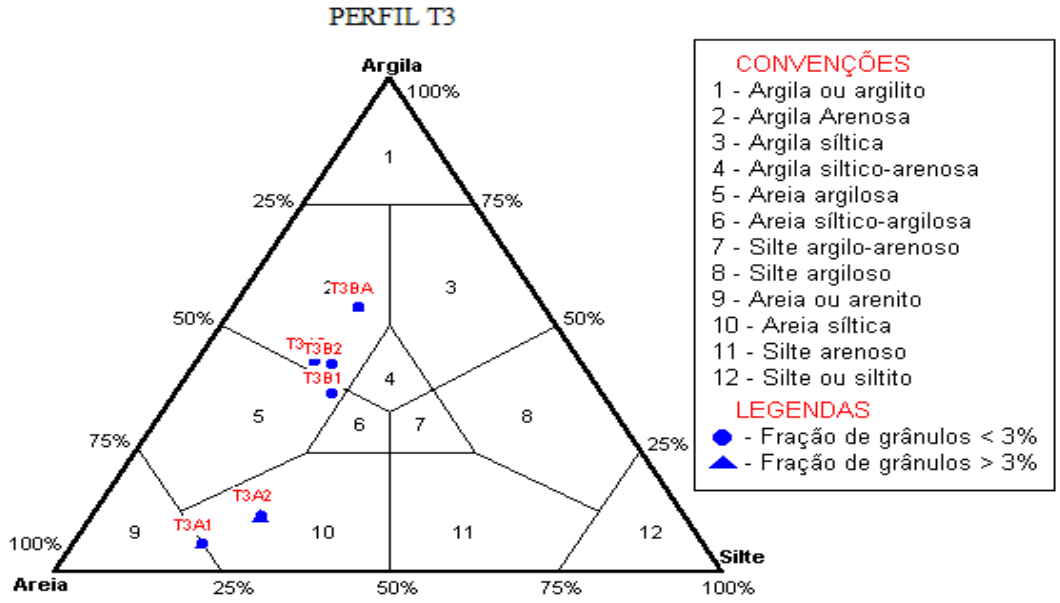

Figura 7 – Distribuição da granulometria no diagrama areia-silte-argila para o perfil T3 (TPA).

5.1.2 - Latossolos Amarelos (LA).

Latossolos Amarelos sem roçado (LA/SR) – Foi nomeado de T2 e apresenta na base do perfil uma granulometria areno-argilosa, possuindo uma fraca seleção, aproximadamente simétrica, a mesma possui uma curtose platicúrtica (T2B3). Em direção ao topo do perfil temos um aumento na granulometria passando a areno-siltosa, a assimetria torna-se muito positiva e a curtose passa a ser leptocúrtica (T2A1) (Figura 8).

Latossolos Amarelos com roçado (LA/CR) – Foi nomeado de T4 e apresenta na base do perfil uma granulometria argilo-siltosa, possuindo uma fraca seleção, aproximadamente simétrica, a mesma possui uma curtose platicúrtica (T4B3). Em direção ao topo do perfil temos um aumento na granulometria passando a areno-siltosa, a assimetria torna-se muito positiva e a curtose passa a ser leptocúrtica (T4A1) (Figura 9).

Tabela 2 – Resultados de análise granulométrica dos Latossolos Amarelos (LA).

Amostras	AREIA (milímetros)						SILTE	ARGILA	Total	Peso
	> 2	2 - 1	1 – 0,5	0,5 – 0,25	0,25 – 0,125	0,125 – 0,062			%	(g)
T2A	0,73	2,63	9,12	22,39	24,42	14,06	19,64	7,01	100	200
T2AB	1,65	3,1	9,77	21,72	24,66	14,51	16,62	7,97	100	200
T2BA	0,5	2,5	7,34	12,5	19	10,71	24,62	22,83	100	200
T2B1	0,4	2,51	6,03	13,99	12,06	9,04	17,55	38,42	100	200
T2B2	0,15	2,2	6,76	9,68	18,15	8,23	20,7	34,13	100	200
T2B3	0,38	2,28	6,57	12,31	14,83	7,91	24,56	31,16	100	200
T4A1	0,35	3,91	16,48	32,38	23	12,32	5,73	5,83	100	200
T4AB	0	0,76	11,34	23,97	24,69	16,46	14,31	8,47	100	200
T4BA	0,73	4,53	11,01	20,82	22,48	16,12	15,14	9,17	100	200
T4B1	0,38	2,68	8,28	14,67	15,38	10,98	28,42	19,21	100	200
T4B2	0,39	2,29	4,28	10,05	10,62	8,26	23,09	41,02	100	200
T4B3	0,98	3,73	5,55	9,7	10,73	7,78	18,52	43,01	100	200

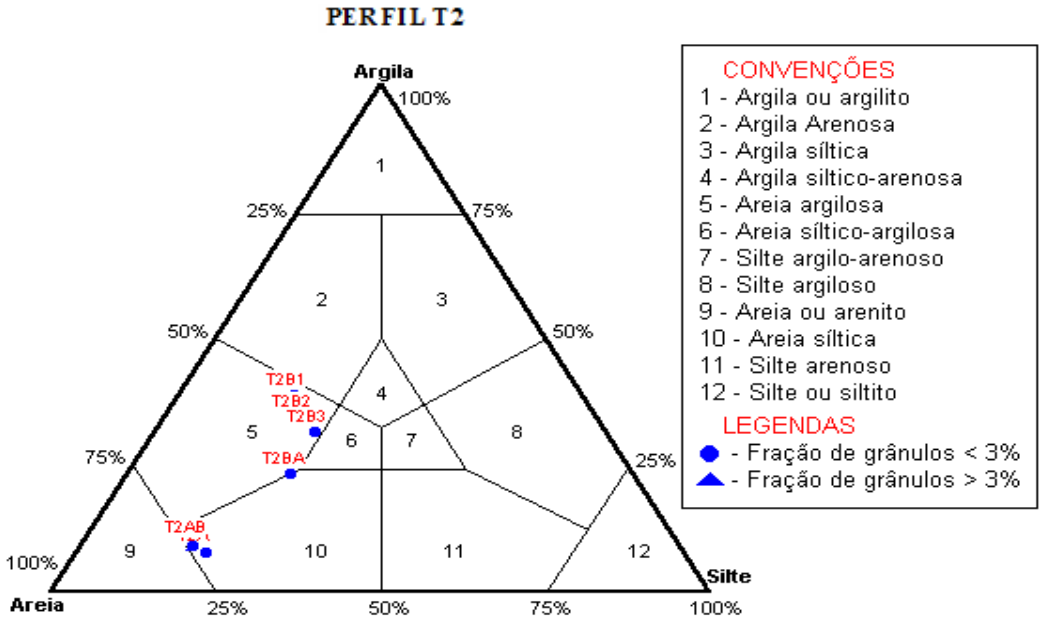

Figura 8 – Distribuição da granulometria no diagrama areia-silte-argila para o perfil T2 (LA).

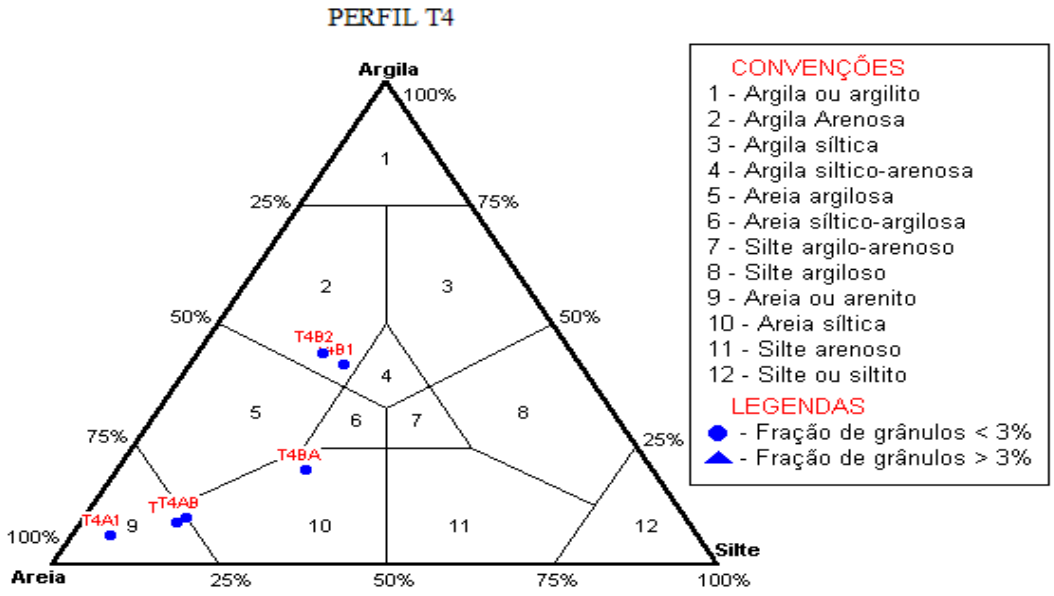

Figura 9 – Distribuição da granulometria no diagrama areia-silte-argila para o perfil T4 (LA).

5.1.3 – Sedimentos de fundo da baía de Caxiuanã (SFBC).

Com base na granulometria foram identificadas duas populações (figura 10):

A primeira população compreendida pelas amostras (cax 3, cax 6, cax 7, cax 10, cax 11, cax 16, cax 18, cax 19, cax 21, cax 27 e cax 33), tem como característica ser dominantemente arenosa, possuindo uma fraca seleção, assimetria variando de positiva a muito positiva, as mesmas possuem uma curtose variando de platicúrtica a muito leptocúrtica, estas amostras foram possivelmente depositadas em sistemas de hidrodinâmica media a alta (figura 11).

A segunda população compreendida pelas amostras (cax 1, cax 2, cax 15, cax 20, cax 23, cax 26, cax 30, cax 32, cax 34 e cax 37), tendo granulometria variando de silte argilo-arenoso ate dominantemente siltoso, possuindo uma media seleção, assimetria variando de positiva a aproximadamente simétrica, as mesmas possuem curtose variando de leptocúrtica a muito leptocúrtica, estas amostras foram possivelmente depositadas em sistemas de hidrodinâmica baixo (figura 11).

Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 12, mostrando a distribuição areal das amostras e seus histogramas.

Tabela 3 – Resultados de análise granulométrica dos sedimentos da baía de Caxiuanã (SFBC).

Amostras	AREIA (milímetros)						SILTE	ARGILA	Total	Peso
	> 2	2 - 1	1 – 0,5	0,5 – 0,25	0,25 – 0,125	0,125 – 0,062			%	(g)
cax 1	0	0	0,42	1,89	4,1	9,19	67,85	16,55	100	100
cax 2	0	1,18	3,48	6,89	11,2	8,06	26,57	42,62	100	100
cax 3	1,04	2,76	9,45	21,7	29,36	15,78	6,75	13,16	100	100
cax 6	0,08	1,28	3,84	5,4	8,54	7,66	23,65	49,55	100	100
cax 7	0,07	0,12	1,41	10,47	38,9	24,83	15,75	8,45	100	100
cax 10	3,52	5,43	25,27	51,78	12,74	1,07	0,11	0,08	100	89
cax 11	0,27	1,69	5,75	8,11	15,21	6,76	20,55	41,66	100	100
cax 15	0	0	0	0,96	4,55	9,34	67,85	17,3	100	100
cax 16	2,04	1,04	8,22	22,07	30,11	13,44	9,92	13,16	100	100
cax 18	3,18	6,49	22,6	40,12	25,57	1,48	0,3	0,26	100	100
cax 19	0,44	8,74	30,46	18,69	17,25	19,74	2,2	2,48	100	100
cax 20	0	0	0	0	0,3	1,8	94,5	3,4	100	100
cax 21	0,07	0,12	1,41	10,47	50,2	19,2	12,2	6,33	100	100
cax 23	0	0	0	2,76	6,57	8,17	61,73	20,77	100	100
cax 26	0	0	0,08	4,76	8,55	10,15	55,71	20,75	100	85
cax 27	1	0,88	2,04	3,64	5,52	20,93	47,61	18,38	100	88
cax 30	0	0,78	2,14	3,54	5,62	19,93	48,61	19,38	100	100
cax 32	0	0,04	0,09	0,28	24,5	55,21	12,24	7,64	100	100
cax 33	0,15	8,94	28,46	19,69	19,25	18,74	2,29	2,48	100	100
cax 34	0	0,95	3,41	11,45	30,2	24,5	23,16	6,33	100	100
cax 37	0	0	0	0,05	0,1	3,34	77,48	19,03	100	100

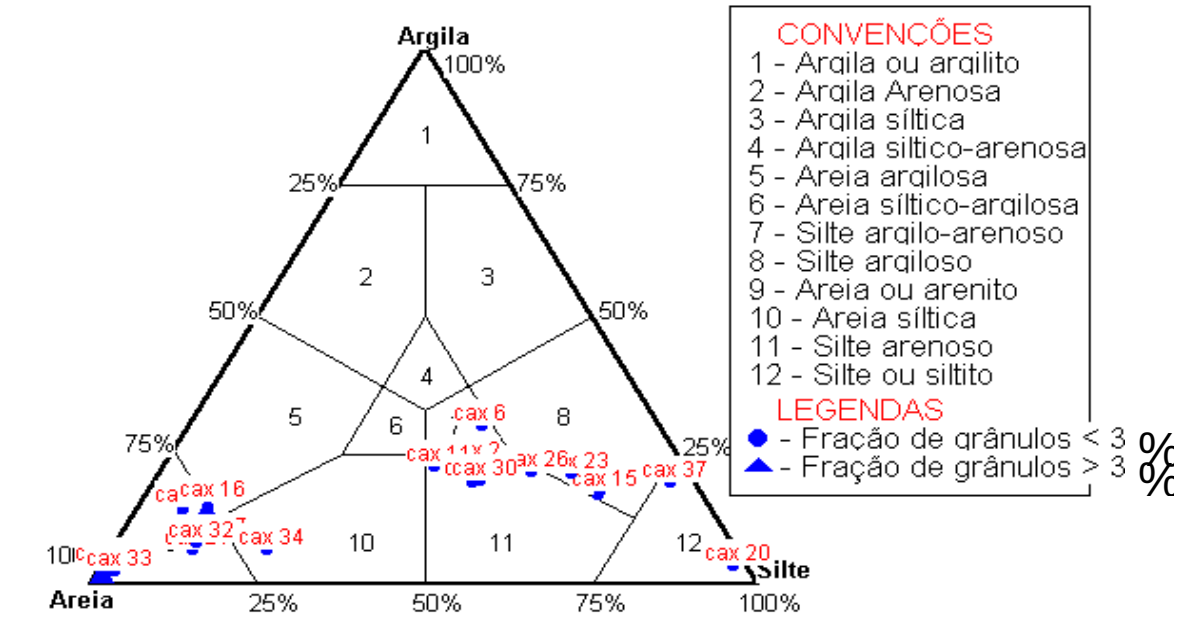

Figura 10 – Distribuição da granulometria no diagrama areia-silte-argila para os sedimentos de fundo da baía de Caxiuanã.

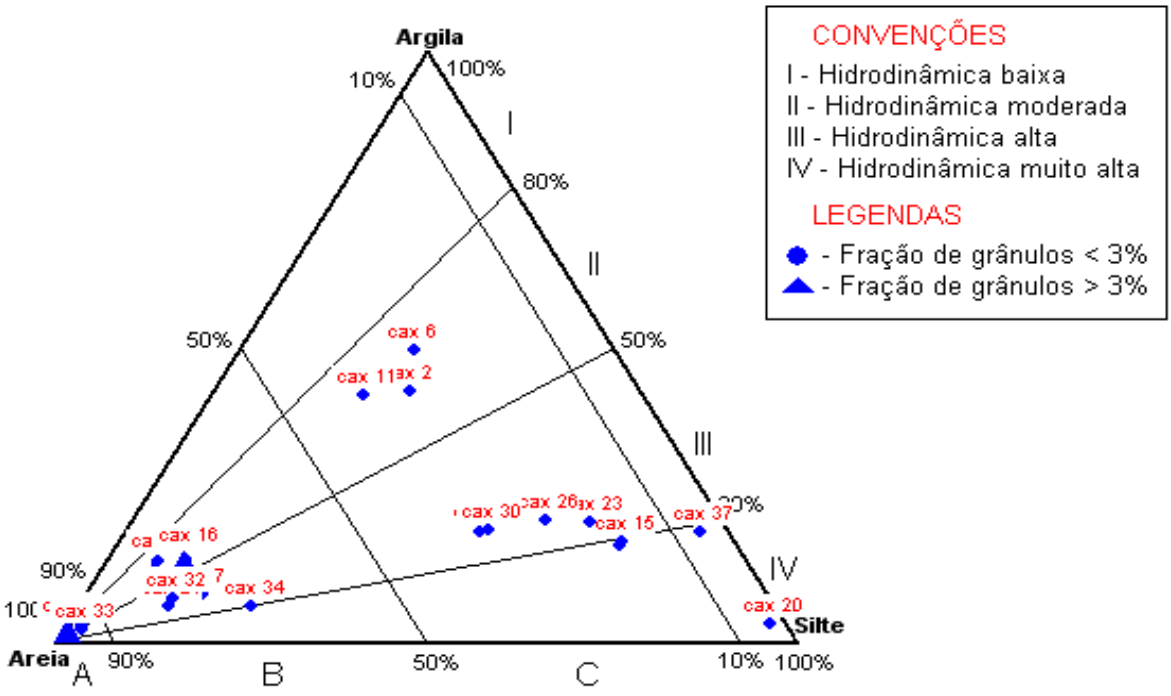

Figura 11 – Distribuição hidrodinâmica dos sedimentos de fundo da baía de Caxiuanã.

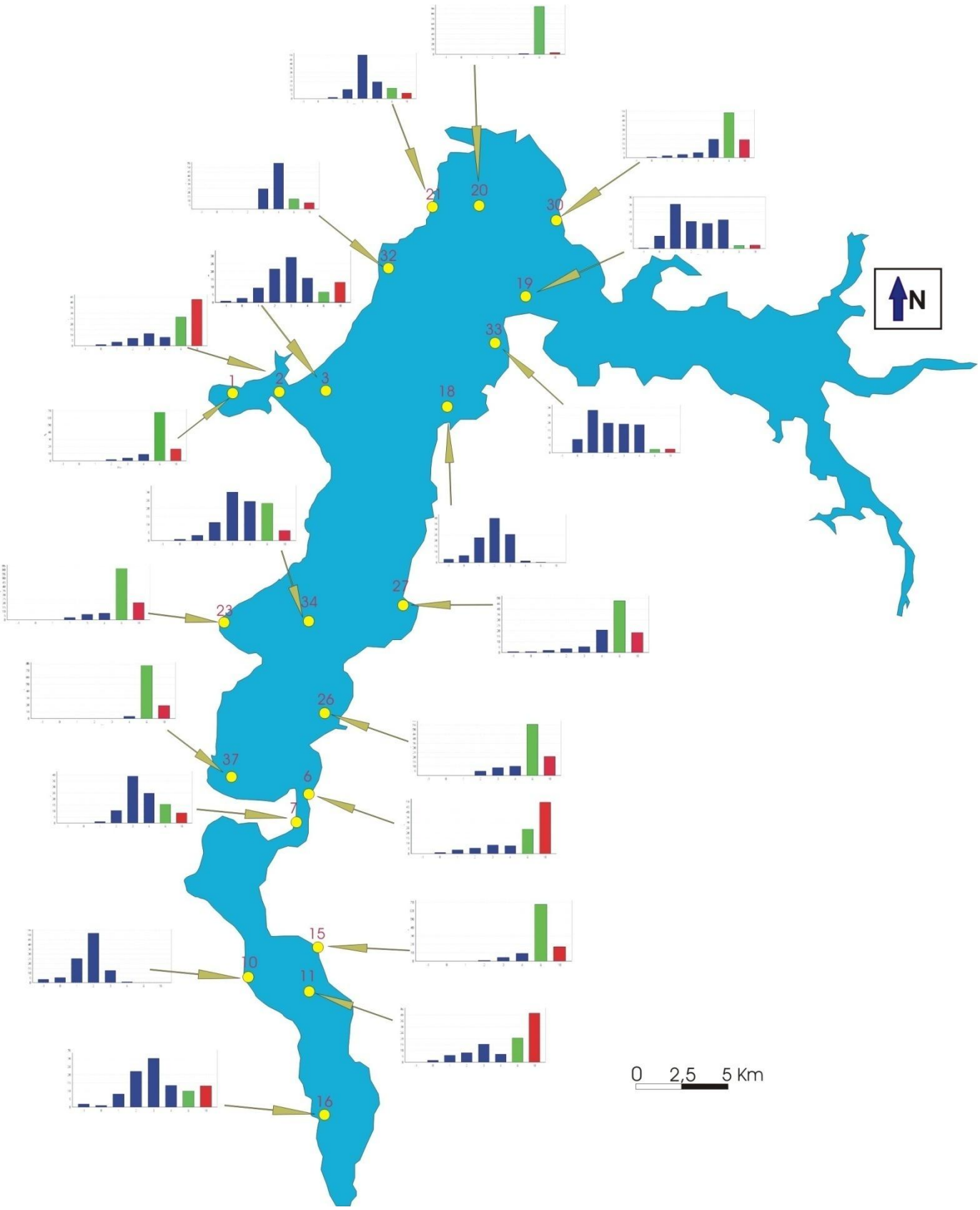

Figura 12 – Distribuição areal dos histogramas de granulometria dos sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã.

5.2 – MINERAIS PESADOS.

Após a identificação e contagem dos minerais pesados sob microscópio ótico, à fração grossa dos solos de TPA e LA acabou não apresentando um numero satisfatório para contagem estatística, devido à grande concentração de minerais opacos nas amostras. Então, optou-se pela fração fina que ao contrario apresentou um número expressivo de minerais pesados.

Alem disso, MARTON & HALLWORTH, (1994) recomendam que para determinação de proveniência, a análise seja feita nesta fração.

5.2.1 - Minerais pesados dos solos de TPA e LA.

Os quatro perfis de solo estudados são constituídos dos mesmos minerais pesados: zircão, cianita, turmalina, estaurolita, anfibólio, rutilo, andaluzita. Subordinadamente ocorrem anatásio e titanita (figuras 13, 14, 15 e 16), que também não se distinguem pela morfologia dos grãos, tendo tanto grãos completamente arredondados denotando um transporte de alta energia, como também grãos euédricos que caracterizam um transporte de baixa energia.

Nos solos de Terra Preta Arqueológica (Figuras 13 e 14) predominamos grãos de zircões que chegam próximo a 60% no topo dos perfis e que diminuem com profundidade, com 45% nos níveis mais profundos; o segundo mineral mais abundante é a cianita variando de 12% até 17%, mostrando distribuição em perfil antagônica a do zircão; seguem-se as turmalinas que no geral permanecem constantes entre 9 e 11%; as estaurolitas com uma media de 8% perfil T1 4% no perfil T3; os grãos andaluzita se assemelham aos das cianitas que aumentam com a profundidade indo de 5 até 9% nos dois perfis; a hornblenda não varia nos perfis com uma media de 5%, da mesma forma rutilo em media 4%; anatásio e titanita aparecem eventualmente em algumas lâminas com menos de 1%.

Nos Latossolos Amarelos (figura 15 e 16) o zircão é também o mineral mais abundante, só que com uma percentagem menor, com no máximo 45% no topo e 36% na base dos perfis de solos. Conseqüentes aumentam as proporções de as

cianitas e andaluzitas, cujo conteúdo aumenta com a profundidade, a primeira chegando a ter 25% do total.

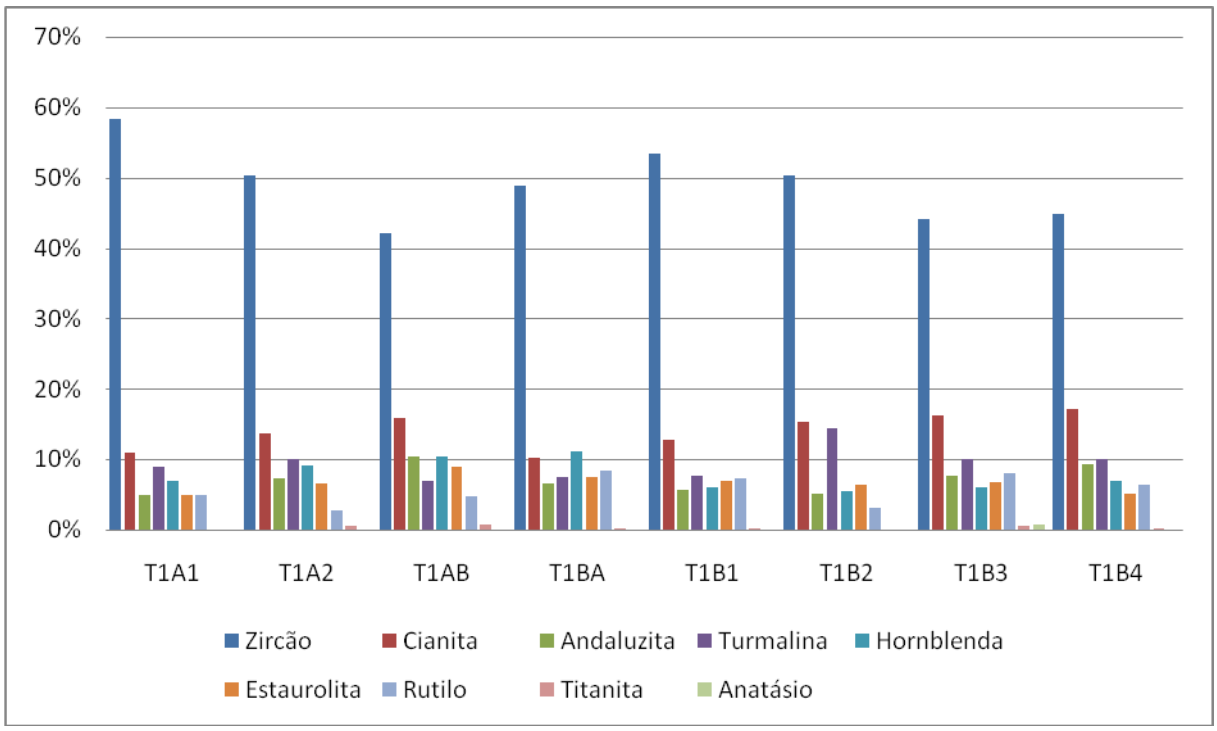

Figura 13 – Distribuição dos minerais pesados encontrados no perfil T1 (TPA).

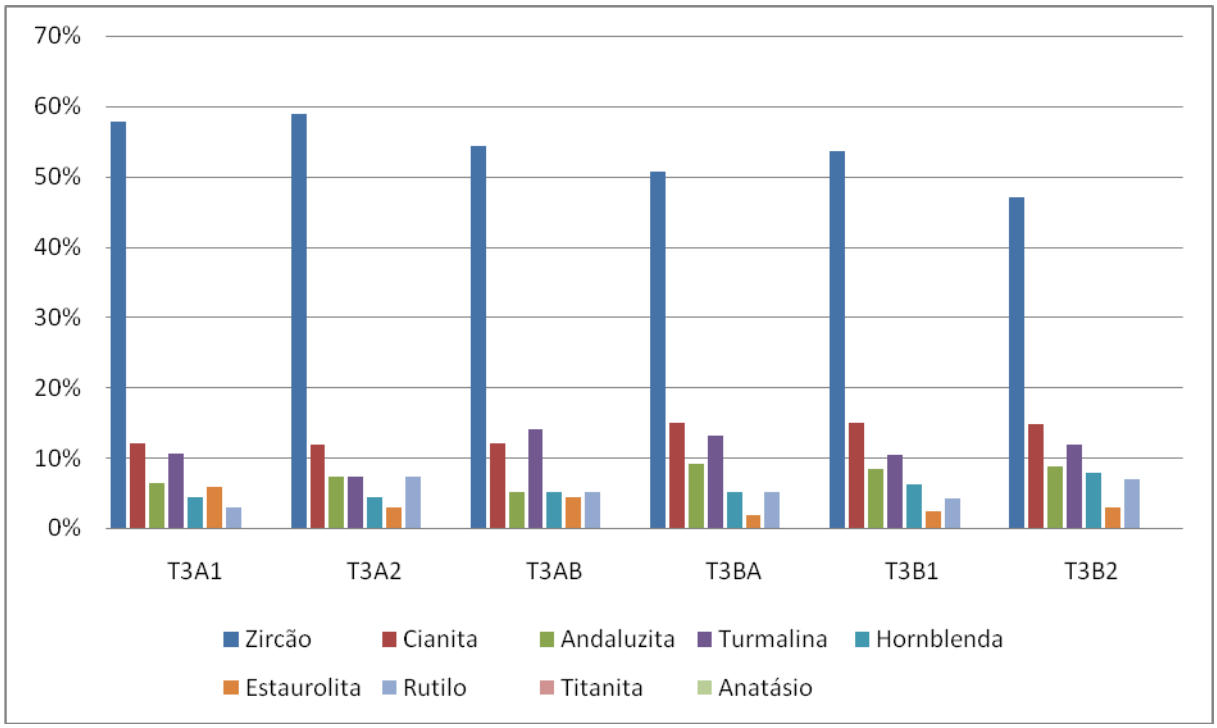

Figura 14 – Distribuição dos minerais pesados encontrados no perfil T3 (TPA).

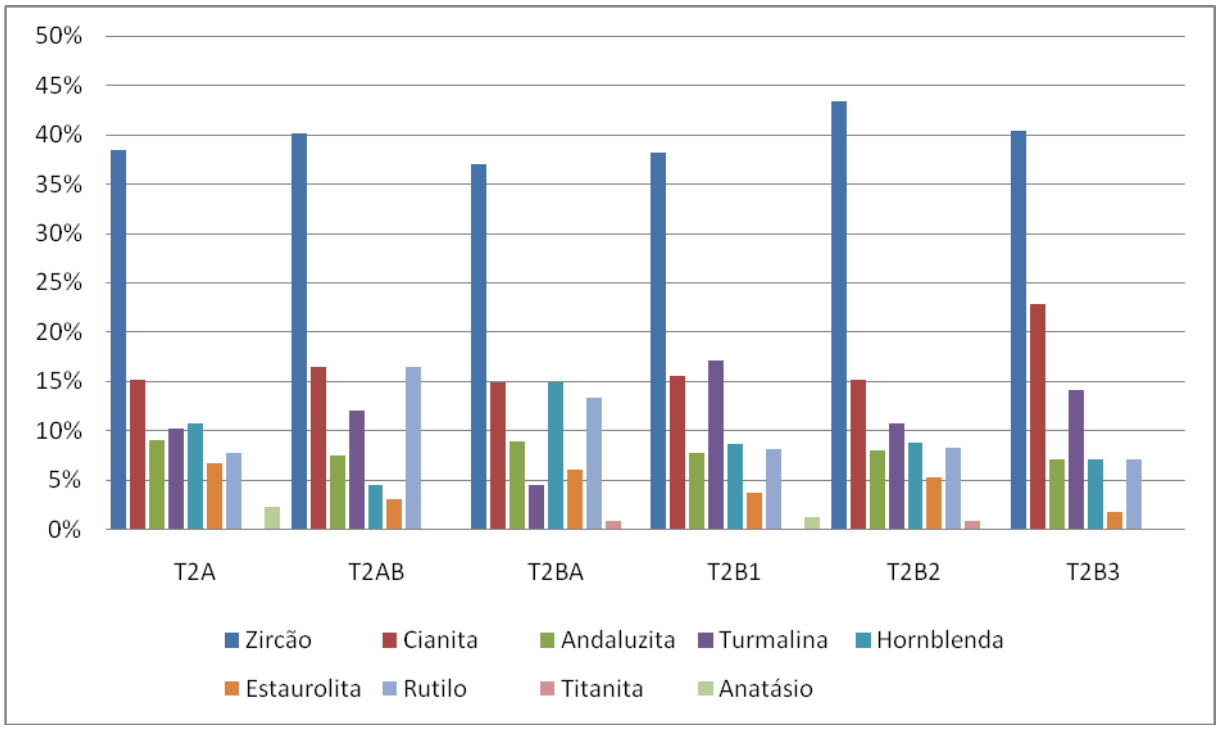

Figura 15 – Distribuição dos minerais pesados encontrados no perfil T2 (LA).

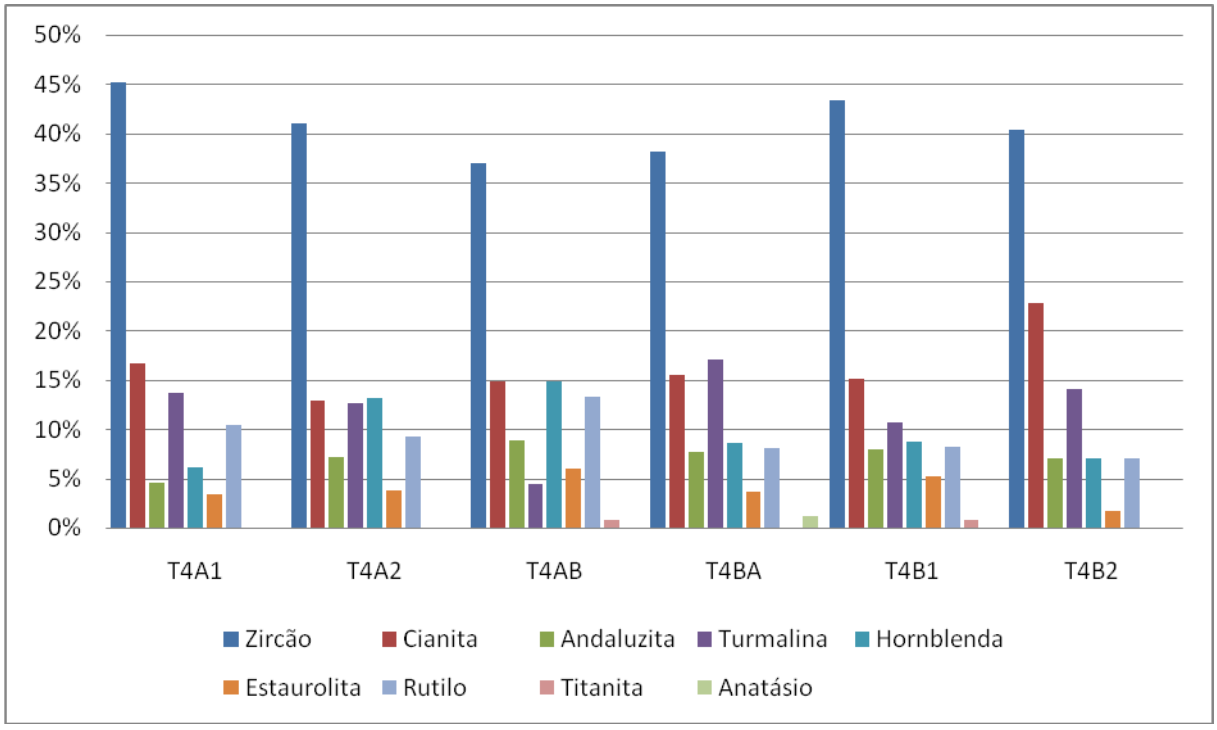

Figura 16 – Distribuição dos minerais pesados encontrados no perfil T4 (LA).

5.2.1.1 – Zircão.

Os grãos de zircão nos perfis estudados foram classificados em três grupos morfológicos distintos: o primeiro caracterizado por grãos de forma mais alongada, angulosa, incolores, com inclusões de minerais prismáticos vermelhos; o segundo grupo está representado por grãos com formas alongadas bastante arredondadas, e uma tonalidade mais escura, zonados; o terceiro se faz representar por formas curtas, arredondadas, com forma de lágrima, sem inclusões (Figura 17).

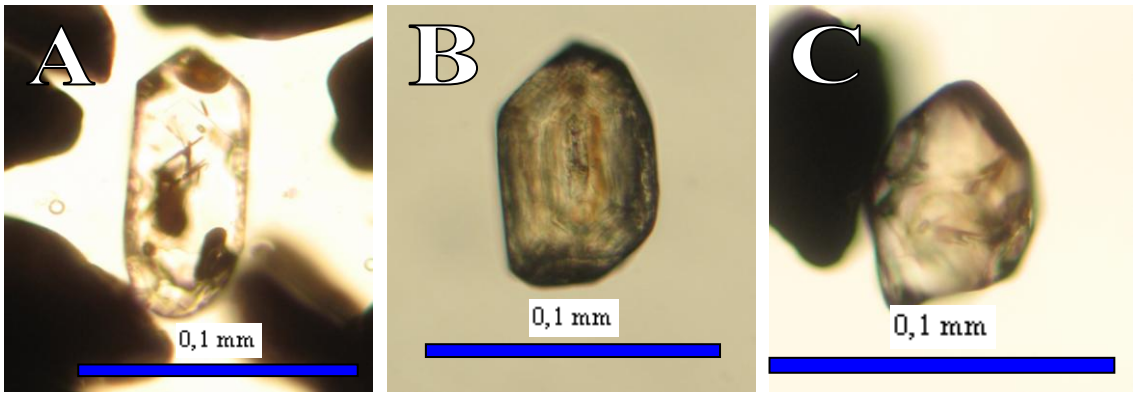

Figura 17 – Grãos de zircões representativos dos três grupos: (A) zircão prismático com intrusões de minerais avermelhados; (B) zircões zonados, já com um grau de arredondamento superior a (A) o que mostra que foi bastante transportado; os zircões do tipo (C) se mostram com uma forma menor mais arredondada em forma de lagrima, feições características de compactação.

Imagens de grãos de zircão sob o microscópio eletrônico de varredura mostram feições de corrosão, algumas inclusões, correspondente a um silicato de alumínio, cálcio, ferro e magnésio, provavelmente turmalina (figura 18).

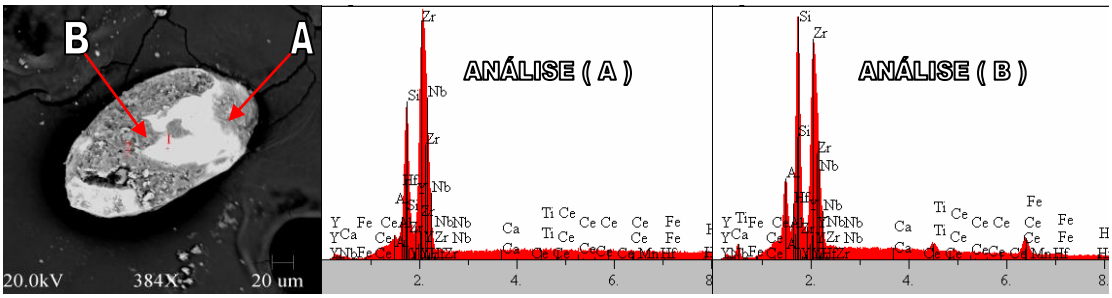

Figura 18 – Imagem de grão de zircão e respectiva análise química qualitativa (A) e (B) (análise de MEV/SED).

5.2.1.2 – Cianita.

As cianitas se mostram sob a forma de prismas transparentes e alongados, com predominância de grãos angulosos a subangulosos, com pouquíssimas ocorrências de indivíduos subarredondados, alguns grãos apresentam incrustações de materiais escuros. Ao serem analisadas no MEV, foi possível a visualização de seus planos de clivagens como também feições intempéricas de desgaste químico nas bordas (figura 19).

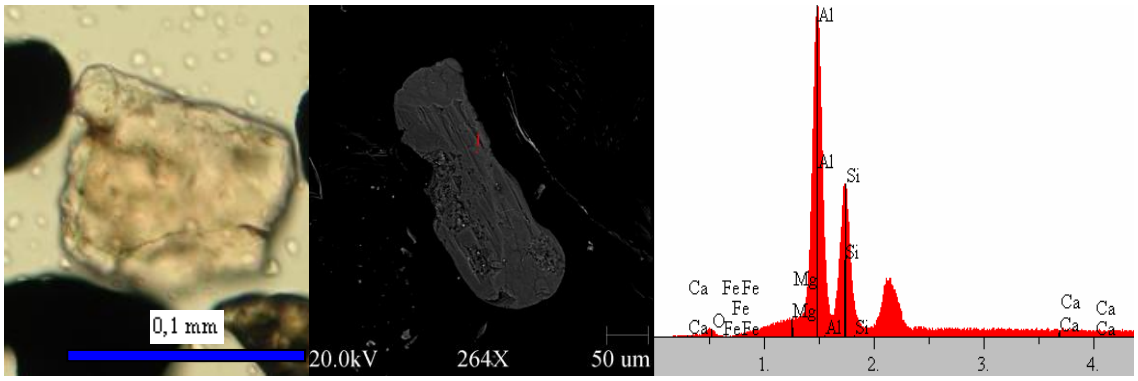

Figura 19 - Grão de cianita angulosos, tendo ao lado uma cianita vista em MEV mostrando direções de clivagem e feições de desgaste químico na borda. Ao lado respectiva analise química obtida com MEV/SED.

5.2.1.3 – Turmalina.

A turmalina apresenta-se em dois grupos morfológicos distintos: o primeiro constituído de grãos bem arredondados, com cores variando de azul a verde acastanhada, e outro, formado por grãos alongados e bordas arredondadas, tendo cores variando de verde a verde acastanhada, e com inclusões fluidas em forma de bolha (figura 20).

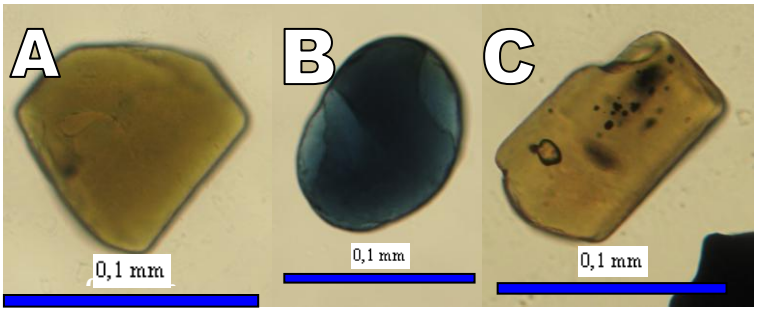

Figura 20 – As turmalinas (A) e (B) representam o primeiro grupo e a turmalina (C) o segundo. (A) tem cor verde acastanhada e mesmo apresentando forma parcialmente subédrica já não tem seu característico habito prismática, a turmalina (B) tem cor azul e um alto grau de arredondamento; a turmalina (C) se mostra prismática parcialmente arredondada, com inclusões fluidas.

Nas imagens obtidas com MEV foram identificadas feições sugestivas de alterações intempéricas representados por desgaste químico nas bordas (figura 21).

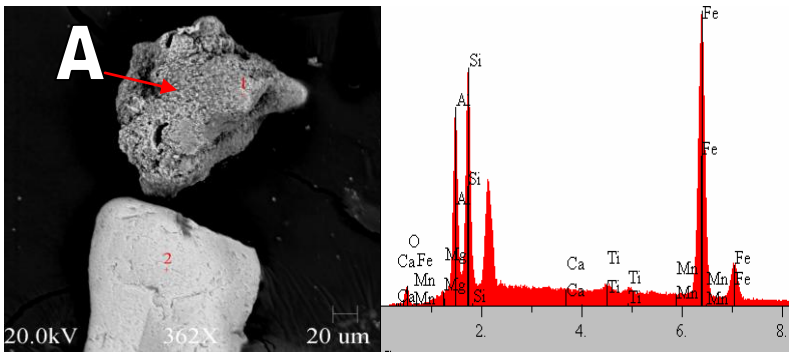

Figura 21 – Imagem de grão de turmalina (A) ao MEV/SED, mostrando desgaste químico nas bordas e ao seu lado a análise química obtida com MEV/SED.

5.2.1.4 – Estaurolita.

A estaurolita se apresenta como grãos amarelados, pleocróicos, com relevo variando de médio a alto, pouco alongados, irregulares, predominantemente subarredondados e subangulosos (Figura 22).

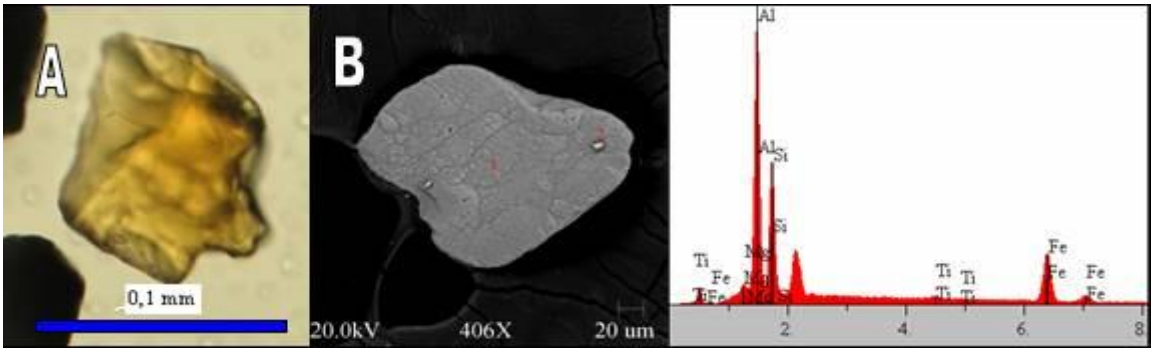

Figura 22 – Estaurolita de cor amarelada (A) ao lado de uma imagem observada ao MEV/SED (B) e respectiva analise química obtida com MEV/SED.

5.2.1.5 – Rutilo.

O rutilo está caracterizado por grãos avermelhados, alongados, que no geral são subarredondados (figura 23).

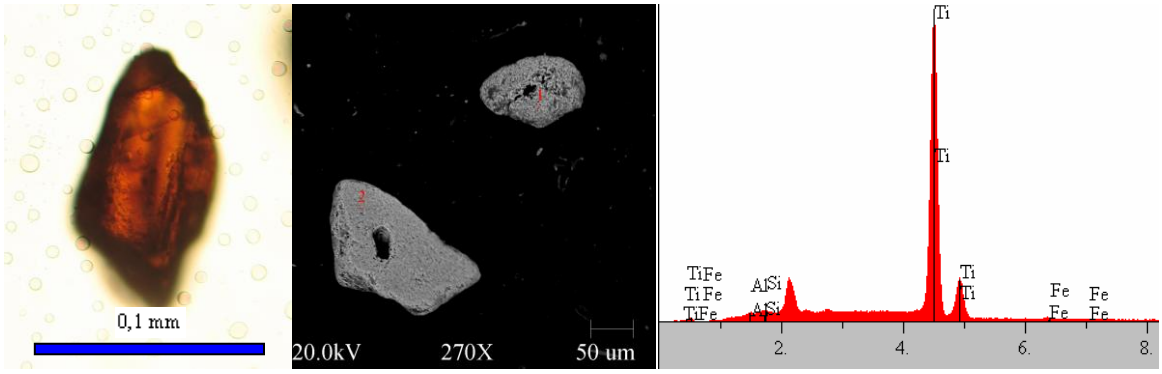

Figura 23 – Rutilo vermelho subarredondado ao lado de dois grãos observados ao MEV e respectiva analise química obtida com MEV/SED.

5.2.1.6 – Anfibólio.

O anfibólio que nas amostras é da variedade hornblenda se apresenta com uma cor verde amarronzada muito semelhante a algumas turmalinas, mas seu caráter biaxial negativo os diferencia, apresentam um altíssimo grau de arredondamento (figura 24).

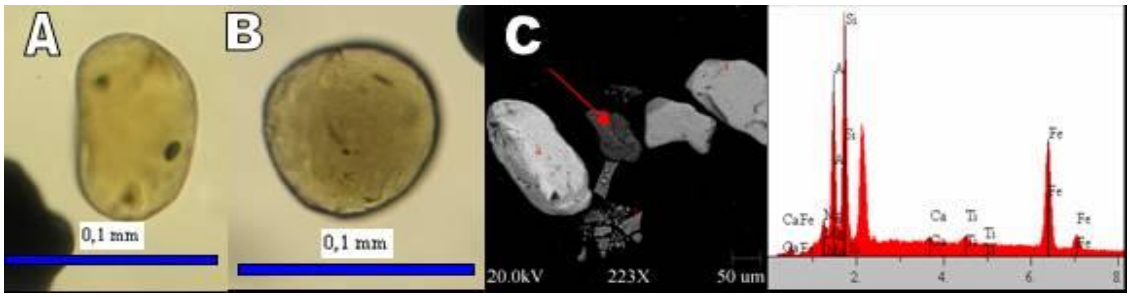

Figura 24 – Grãos de hornblendas arredondadas (A e B) sob o microscópio óptico, grãos de hornblenda sob MEV (C), e ao lado direito observa-se a analise química obtida com MEV/SED.

5.2.1.7 – Andaluzita.

A andaluzita encontrada apresenta baixo índice de refração e baixa birrefringência, estão na forma de cristais transparentes, com inclusões de materiais escuros, seus grãos são subarrendondados (figura 25).

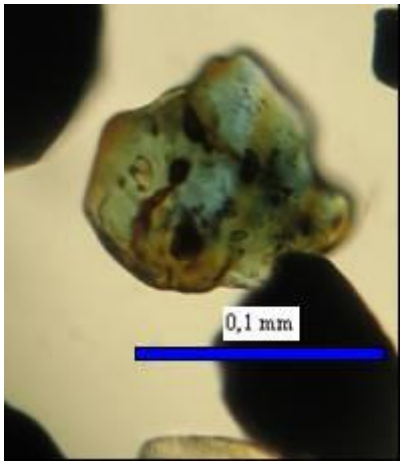

Figura 25 – Andaluzita com inclusões de minerais opacos.

5.2.1.8 - Minerais pesados opacos dos solos de TPA e LA.

Com auxilio do microscópio eletrônico de varredura (MEV/SED) foram identificados os principais minerais opacos dos solos de Terra Preta e Latossolos: ilmenita e magnetita.

A ilmenita encontrada apresenta-se como grãos bem arredondados, alongados a sub-esféricos (Figura 26).

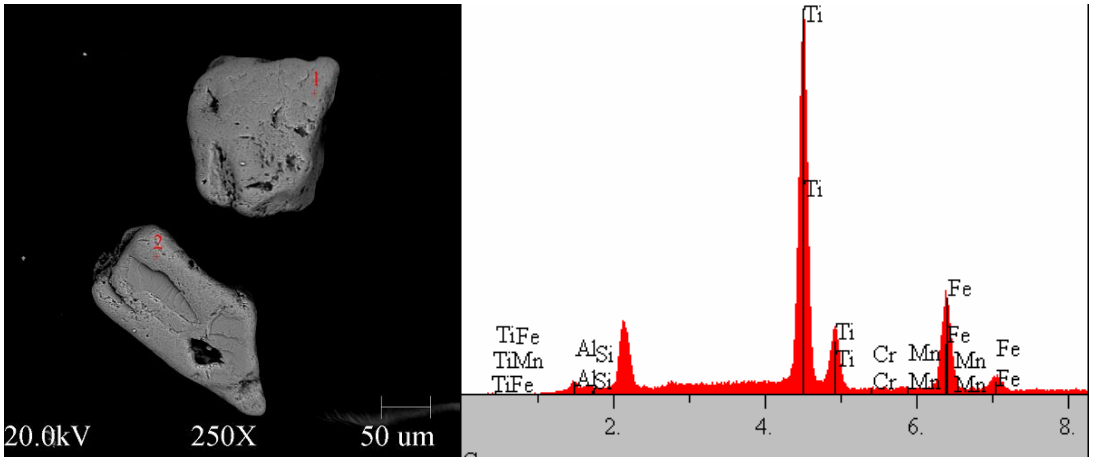

Figura 26 – Grãos de ilmenita sob MEV/SED e respectiva analise química qualitativa.

As magnetitas se apresentam em grãos bastante arredondados, apresentando superfície de corrosão (figura 27).

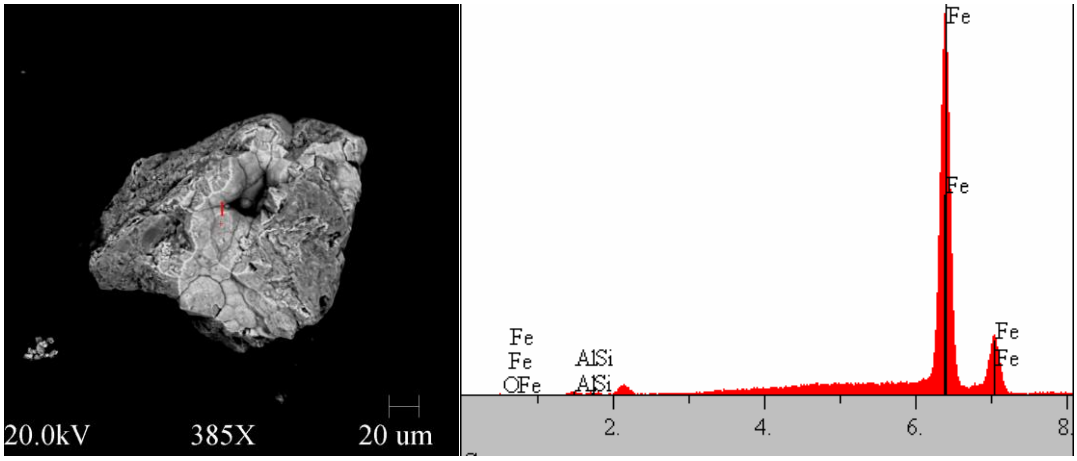

Figura 27 – Magnetita vista ao MEV/SED e sua respectiva analise química qualitativa.

5.2.2 - Minerais pesados dos sedimentos de fundo da Baía de Caxiuanã.

Os sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã apresentaram os seguintes minerais em ordem decrescente de abundância: cianita, epidoto, turmalina, zircão, andaluzita, estaurolita, rutilo, titanita, e monazita; em menor quantidade muscovita, silimanita e hornblenda (figuras 28 e 29). Não se observou variação na morfologia dos grãos entre as amostras, o que sugere áreas fontes comuns ou aporte comum para toda a Baia de Caxiuanã.

A fração fina apresenta grãos de zircão variando entre 14% a 25%, de turmalinas de 15% a 18%, de cianitas de 21% a 22%, epidotos de 8% a 18%, andaluzitas de 13% a 14%, estaurolitas de 4% a 10%, os rutilos de 5% a 7%, as titanitas de 1% a 2%, já a biotita e a monazita apresentam-se em média com 1%.

Já a fração grossa apresenta as cianitas variando entre 21% a 23%, as turmalinas de 20% a 23%, os epidotos de 20% a 19%, os zircões de 6% a 5%, as andaluzitas de 18% a 17%, os rutilos de 5% a 7%, as estaurolitas de 4% a 1%, as titanitas de 4% a 5%, monazitas e biotitas apresenta-se em media com 1%.

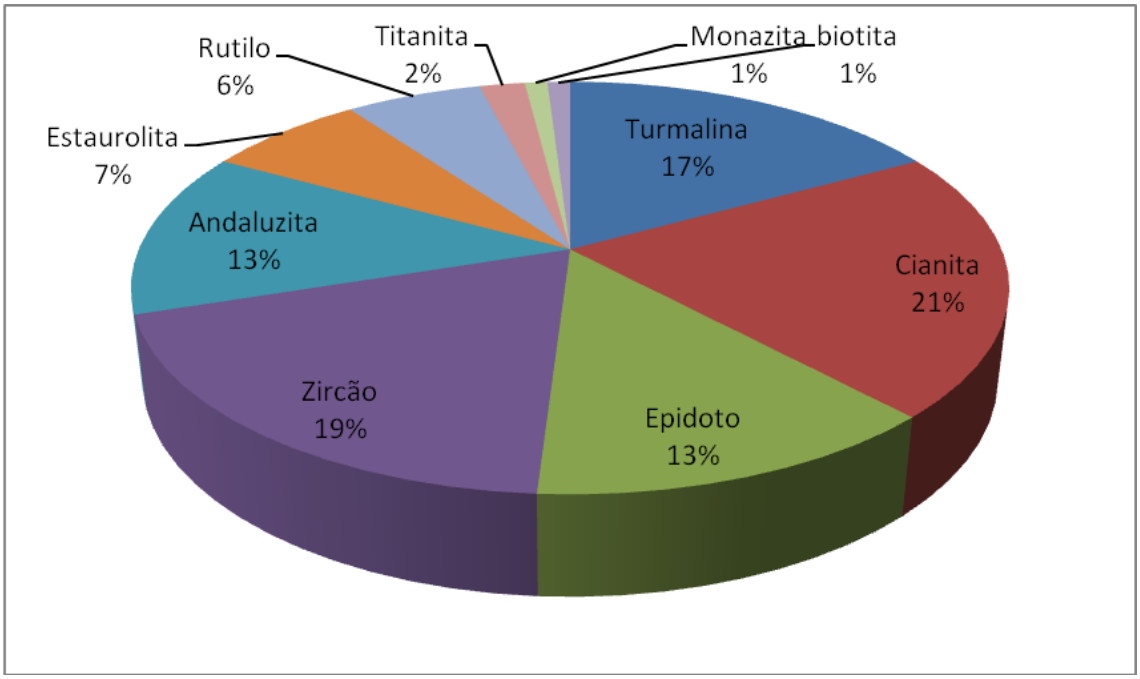

Figura 28 – Distribuição média dos minerais pesados na fração fina dos sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã.

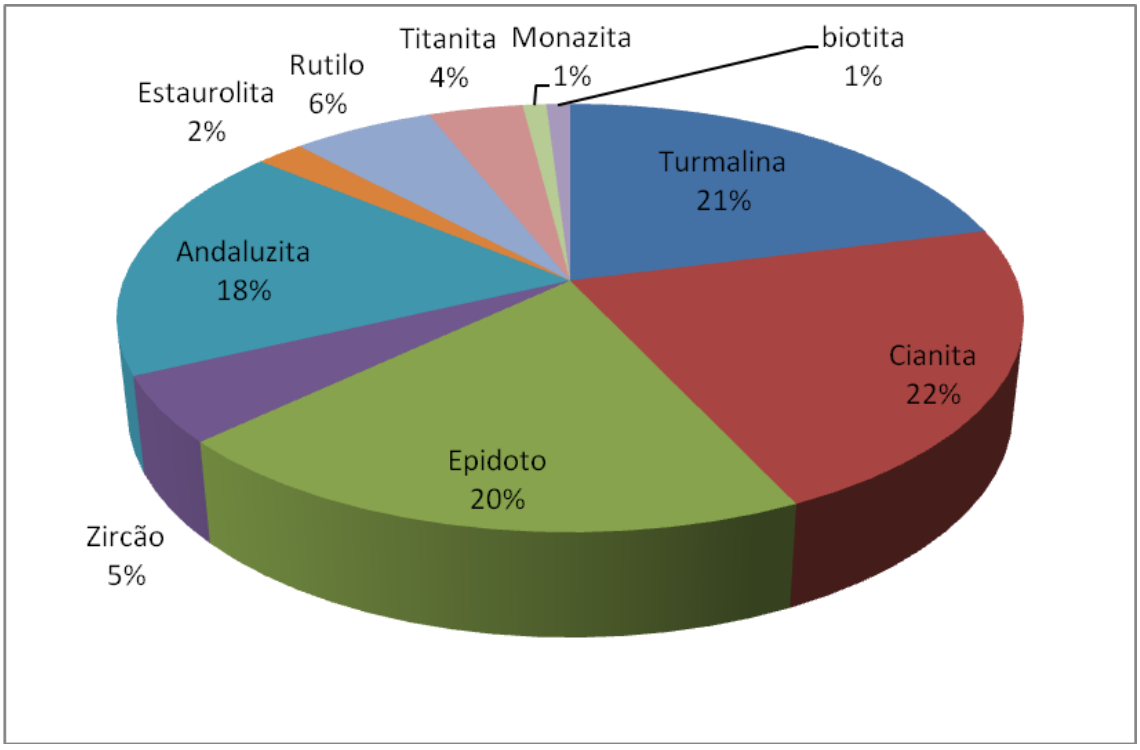

Figura 29 – Distribuição média dos minerais pesados na fração grossa dos sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã.

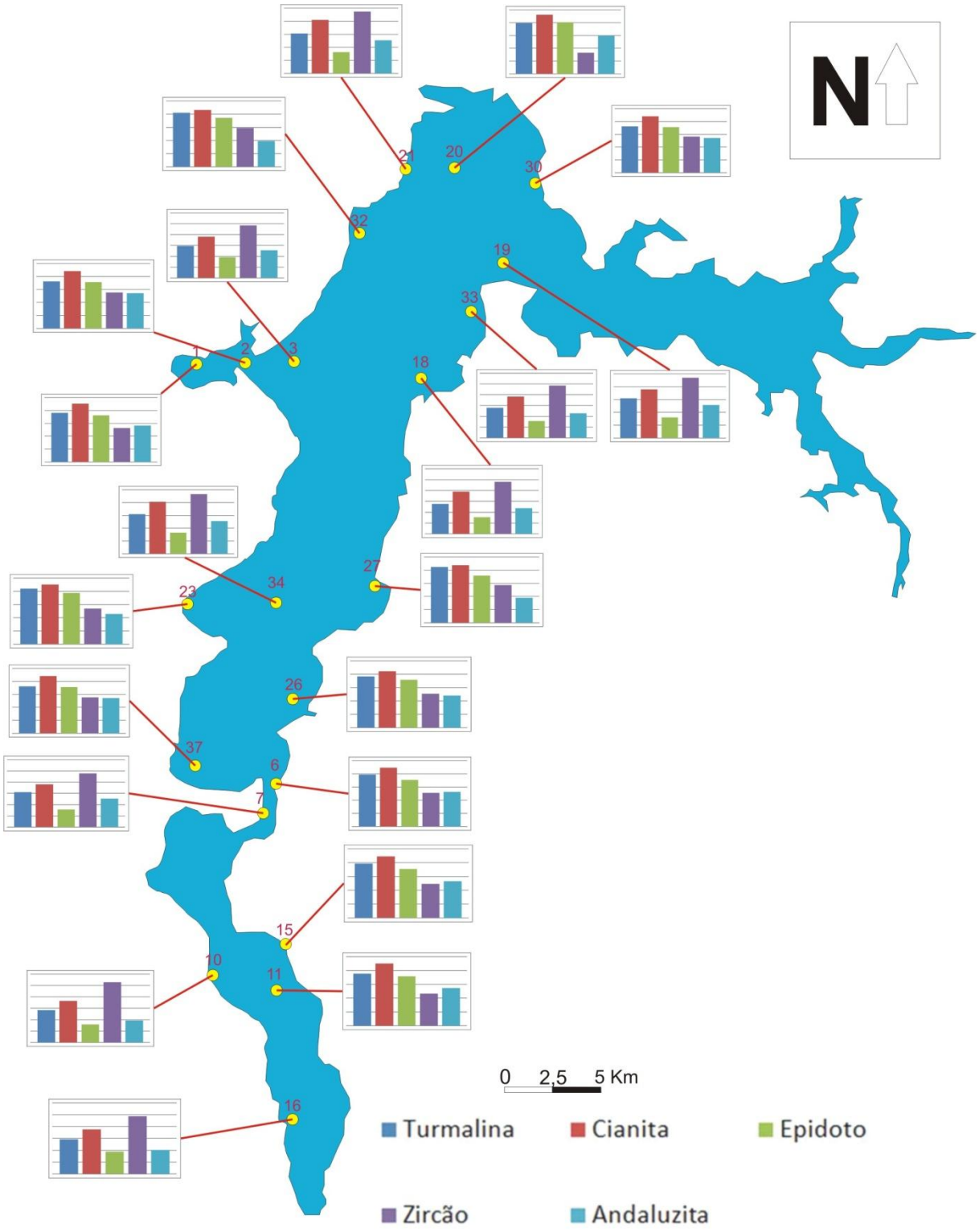

Figura 30 – Distribuição areal dos cinco principais minerais pesados, encontrados na fração fina nos sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã.

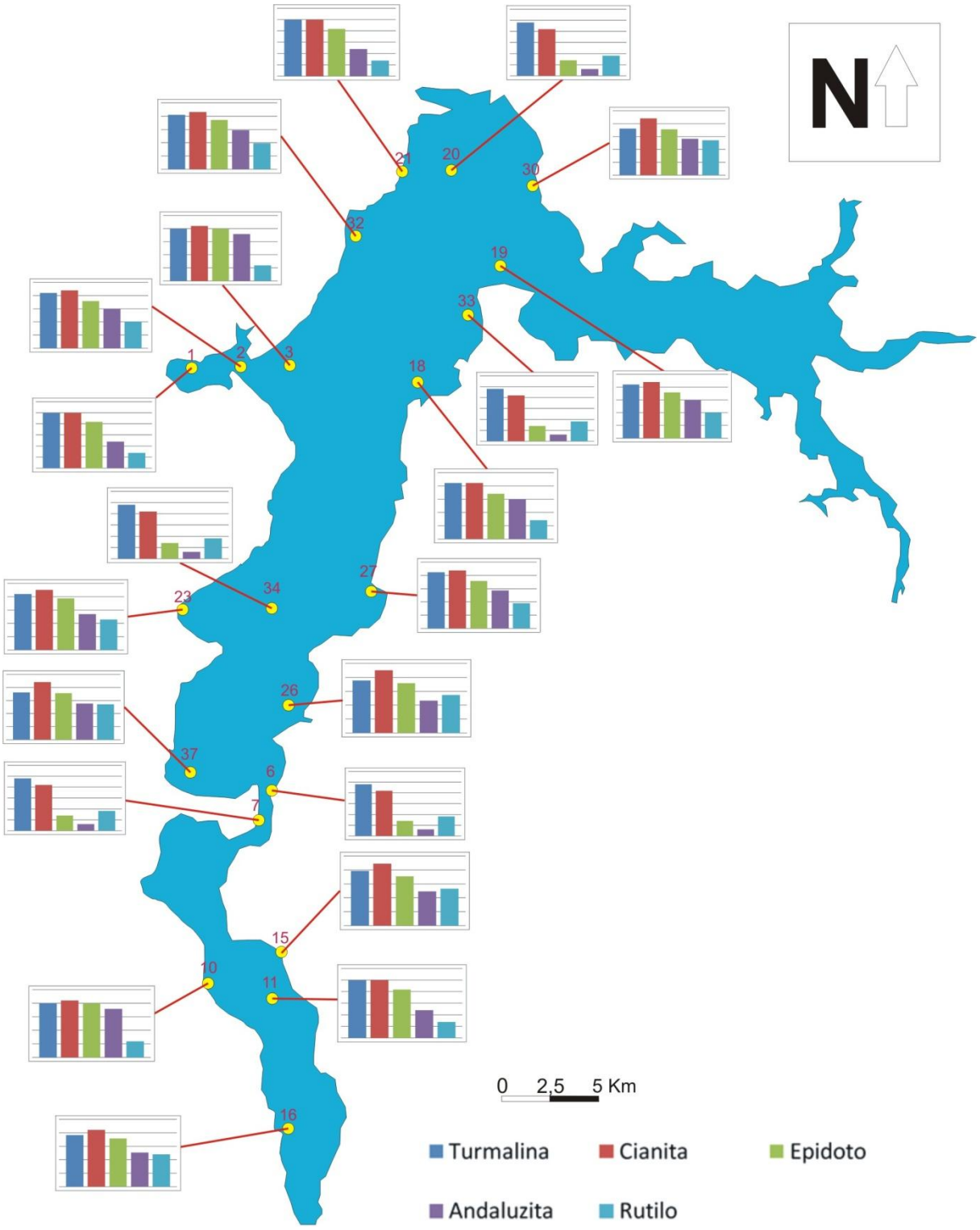

Figura 31 – Distribuição areal dos cinco principais minerais pesados, encontrados na fração fina nos sedimentos de fundo da Baia de Caxiuanã.

5.2.2.1 – Zircão.

O zircão se apresenta em dois grupos morfológicos distintos: o primeiro de forma prismática alongada, variando de muito anguloso a sub-anguloso, apresentando baixa esfericidade, subédrico a euédrico, incolor, com de minerais prismáticos vermelhos.

O segundo com formas variando de prismática alongada a quase esférico, apresentado média à alta esfericidade, variando de sub-arendondado a arendondado, este apresenta uma tonalidade escura, os mesmos aparecem zonados e tem como origem provável, uma rocha sedimentar (figura 32).

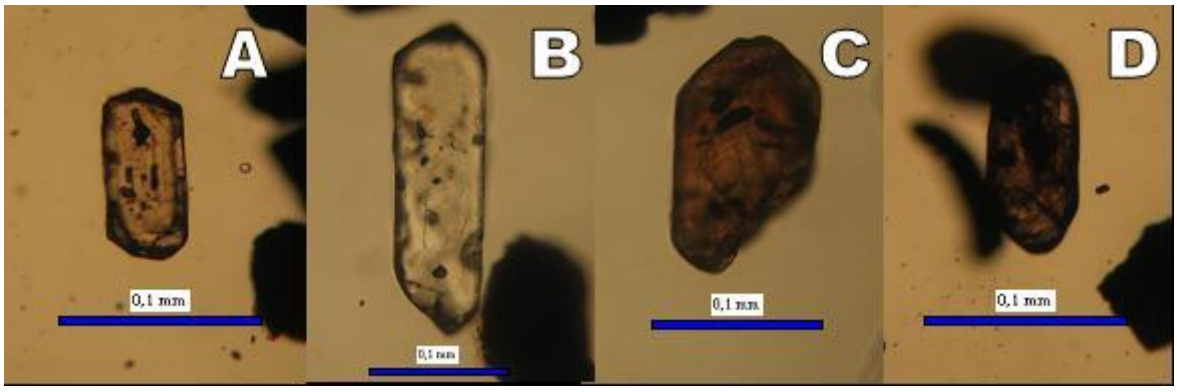

Figura 32 – Grãos de zircão representativos dos dois grupos: em (A e B) o zircão prismático com inclusões de minerais avermelhados; em (C e D) vemos zircões zonados, já com um grau de arredondamento superior a (A e B) o que mostra que foi bastante transportado, como também uma cor mais escura que os primeiros.

Zircões no microscópio eletrônico de varredura mostram diferentes formas (Figura 33):

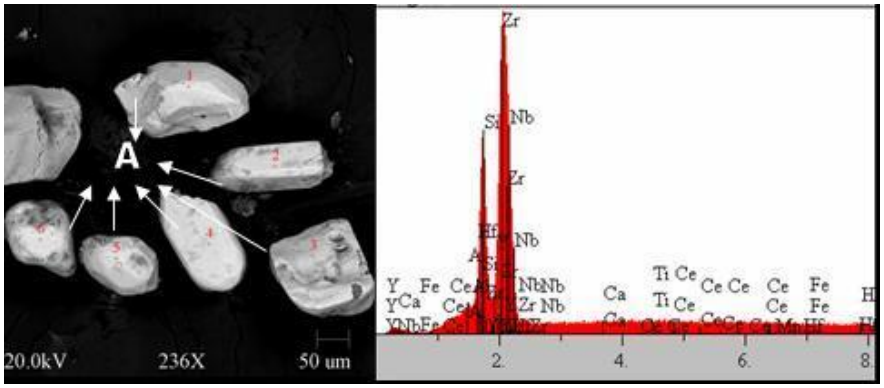

Figura 33 - Zircãos (A) e respectiva análise química qualitativa (B) (análise de MEV/SED).

5.2.2.2 – Cianita.

A cianita se mostra sob a forma de prismas transparentes e alongados, com predominância de grãos angulosos a sub-angulosos, com pouquíssimas ocorrências de indivíduos sub-arredondados, alguns grãos apresentam incrustações de materiais escuros (Figura 34).

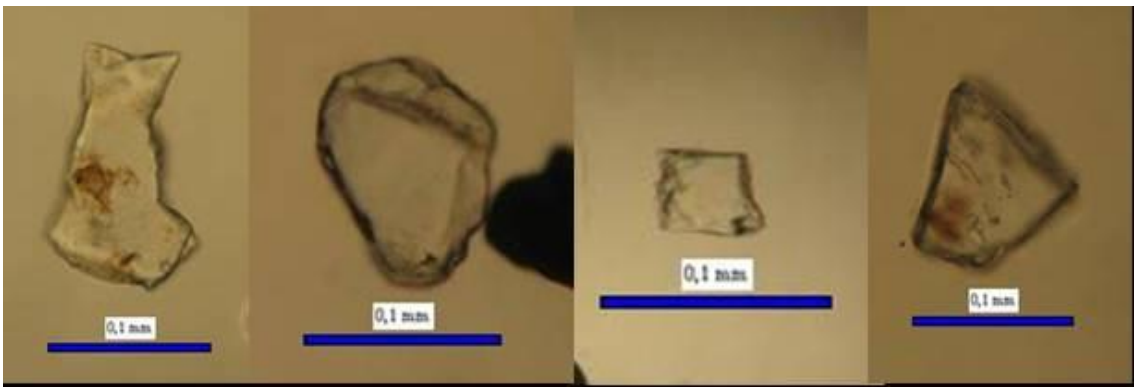

Figura 34 – Diferentes formas de grãos de cianitas encontrados nos SFBC.

As cianitas apresentam feições de corrosão química nas bordas (figura 35) sugestivas de alterações intempéricas.

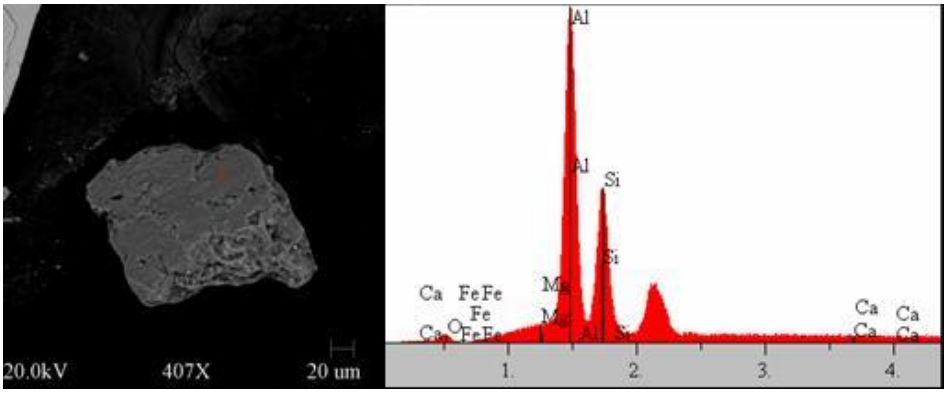

Figura 35 – Grão de cianita ao MEV mostrando direções de clivagem e feições de desgaste químico; ao lado respectiva analise química obtida com MEV/SED

5.2.2.3 – Turmalina.

Foram reconhecidos dois grupos morfológicos distintos de turmalina: o primeiro constituído de grãos bem arredondados, com cores variando de laranja a verde acinzentado, e outro, formado por grãos alongados e bordas arredondadas, tendo cores variando de verde a verde acastanhada (figura 36).

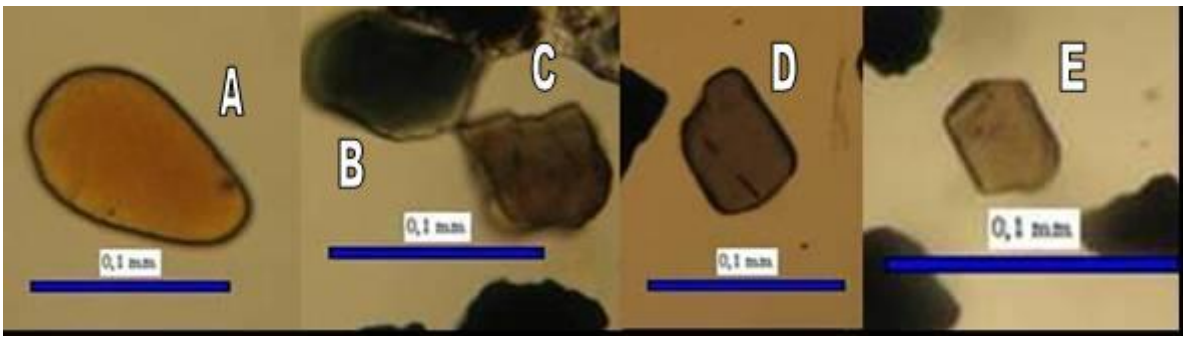

Figura 36 – As turmalinas (A, B e C) representam o primeiro grupo constituído de grãos bem arredondados, enquanto (D e E) representam as turmalinas formadas por grãos alongados e bordas arredondadas.

As imagens de MEV permitem visualizar feições intempéricas de desgaste químico nas bordas (figura 37).

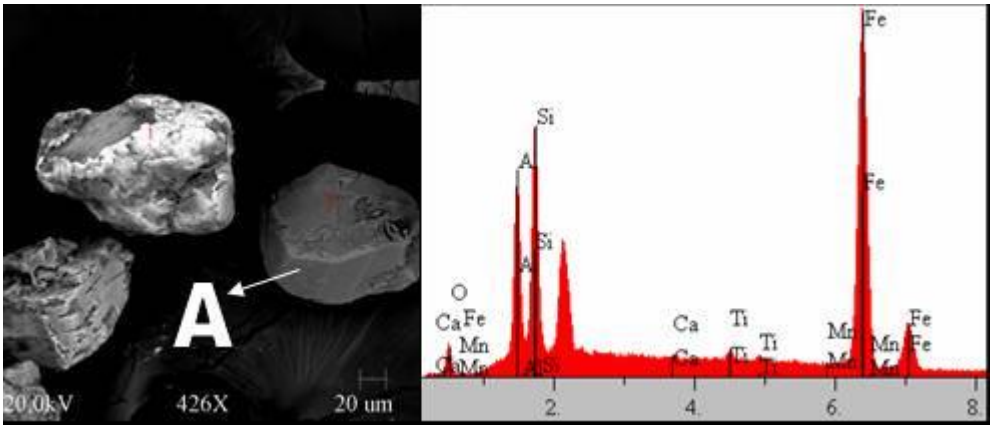

Figura 37 – Imagem de grão de turmalina (A) ao MEV/SED, mostrando desgaste químico nas bordas e ao seu lado a análise química obtida com MEV/SED.

5.2.2.4 – Epidoto.

Os epidotos se apresentam com uma cor verde pistache, com um pleocroísmo fraco, relevo mais baixo, bastante anguloso demonstrando um transporte brando (Figura 38).

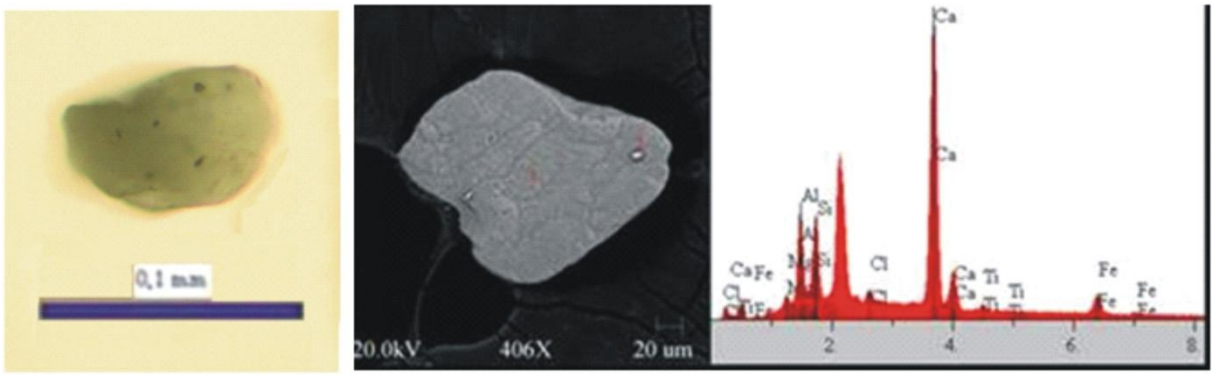

Figura 38 – Epidoto verde alguloso ao lado de dois grãos observados ao MEV e respectiva analise química obtida com MEV/SED.

5.2.2.5 – Estaurolita.

A estaurolita se apresenta como grãos amarelados, pleocróicos, com relevo variando de médio a alto, pouco alongados, irregulares, predominantemente subarredondados e subangulosos; sob o MEV mostra-se feições bastante angulosas (Figura 39).

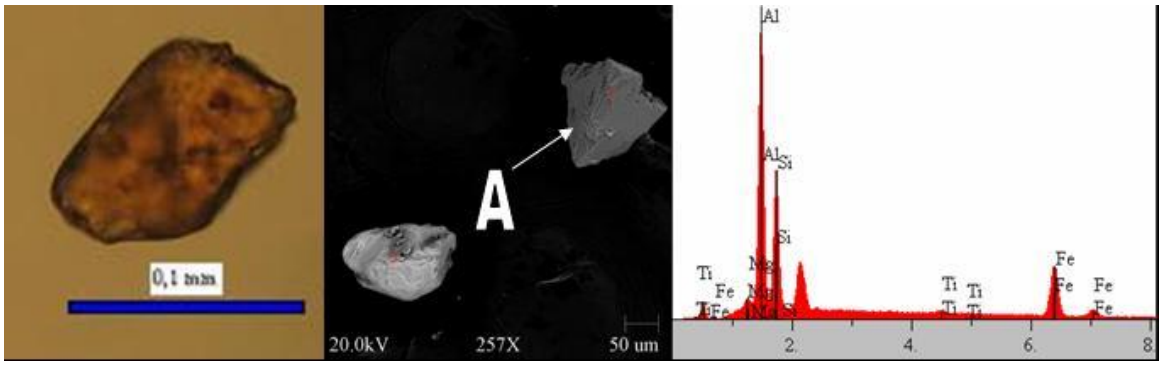

Figura 39 – Estaurolita de cor amarelada (A) ao lado de uma imagem observada ao MEV/SED (B) e respectiva analise química obtida com MEV/SED.

5.2.2.6 – Rutilo.

O rutilo é caracterizado por grãos avermelhados, grãos alongados, geralmente subarredondados; ao MEV foi possível se identificar feições de corrosão (figura 40).

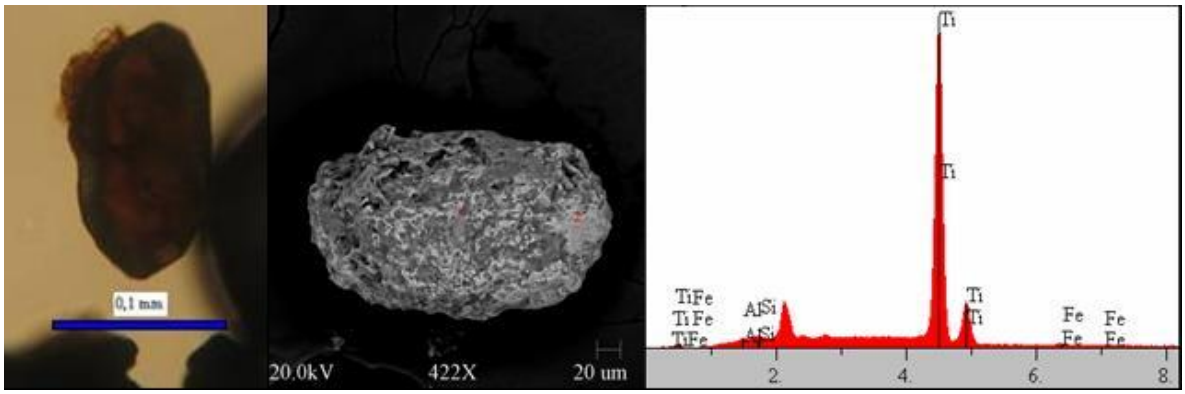

Figura 40 – Rutilo vermelho subarredondado ao lado de um grão observado ao MEV e respectiva analise química obtida com MEV/SED.

5.2.2.7 – Andaluzita.

A andaluzita encontrada apresenta baixo índice de refração e baixa birrefringência, estão na forma de cristais transparentes, com inclusões de materiais escuros, seus grãos são subarrendondados (figura 41).

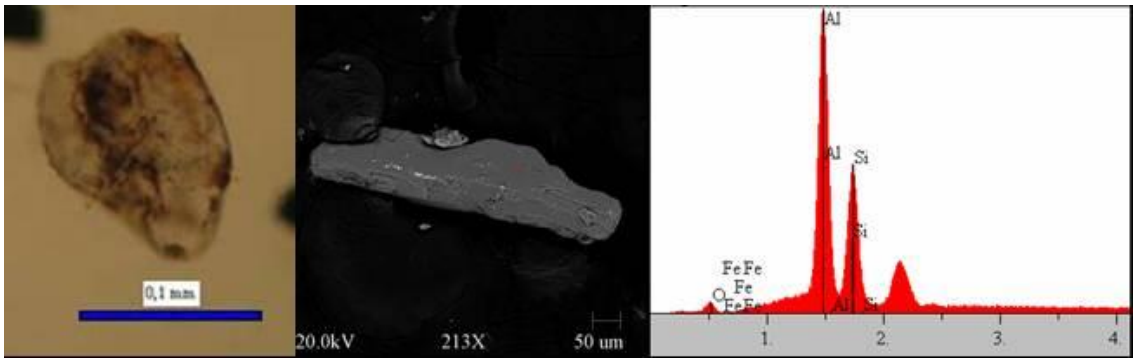

Figura 41 – Andaluzita subarredondado ao lado de um grão observado ao MEV e respectiva analise química obtida com MEV/SED.

5.2.2.8 – Biotita.

A biotita apresenta-se como placas subarredondadas a arredondadas com bordas corroídas e denteadas. Está distribuída igualmente nas duas frações. Em imagem de MEV/SED evidencia-se melhor a corrosão nas bordas de seus grãos, que formam padrões serrilhados e semiconvexos (Figura 42).

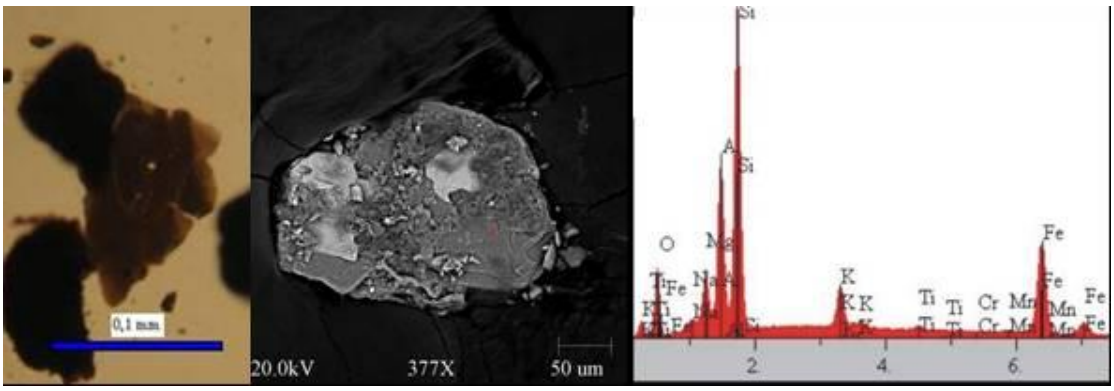

Figura 42 - A biotita mostrando-se em forma de placas tanto ao microscópio ótico como ao MEV e respectiva analise química obtida com MEV/SED.

.

5.2.2.9 – Monazita.

As monazitas apresentam uma cor amarela amarronzada em alguns grãos quase opaca, grãos alongados, irregulares, predominantemente arredondados e subangulosos. No MEV mostram feições bastante arredondadas, como também, marcas de corrosão (Figura 43)

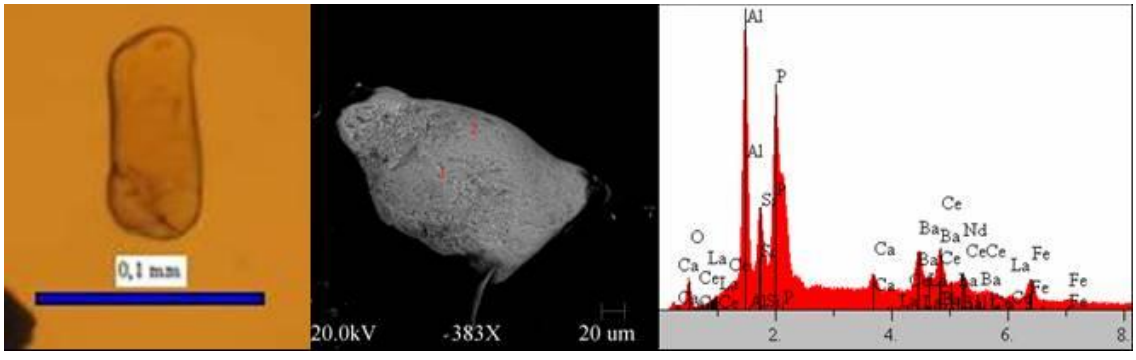

Figura 43 - A monazita mostrando-se em forma de grão alongados bastante arrendados tanto ao microscópio ótico como ao MEV e respectiva analise química obtida com MEV/SED.

5.2.2.10 – Titanita.

A titanita apresenta-se predominantemente na cor amarelo-amarronzada com pequena ocorrência. Seus grãos são subangulosos a arredondados, com raríssimas incidências de indivíduos angulosos (Figura 44).

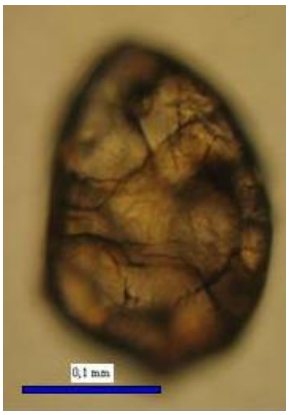

Figura 44 - Titanita vista ao microscópio ótico mostra seu relevo alto e bastante fraturada.

5.2.2.11 - Minerais pesados opacos dos sedimentos de fundo da baía de Caxiuanã.

Com auxilio do microscópio eletrônico de varredura (MEV/SED) foram identificados os principais minerais opacos dos solos de Terra Preta e Latossolos, eles são: ilmenita além de outro oxido de ferro, possivelmente hematita.

As ilmenitas encontradas estavam na formas de grãos bem arredondados, alongados a esféricos (Figura 45).

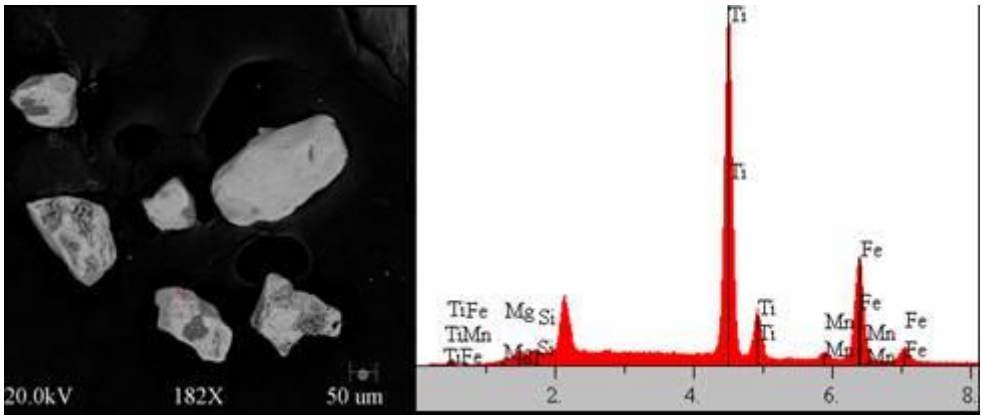

Figura 45 - As variedades de ilmenita encontradas ao MEV e respectivo espectro de análise por MEV/EDS.

As hematitas encontradas se apresentam em grãos bastante arredondados, com superfície de corrosão (figura 46).

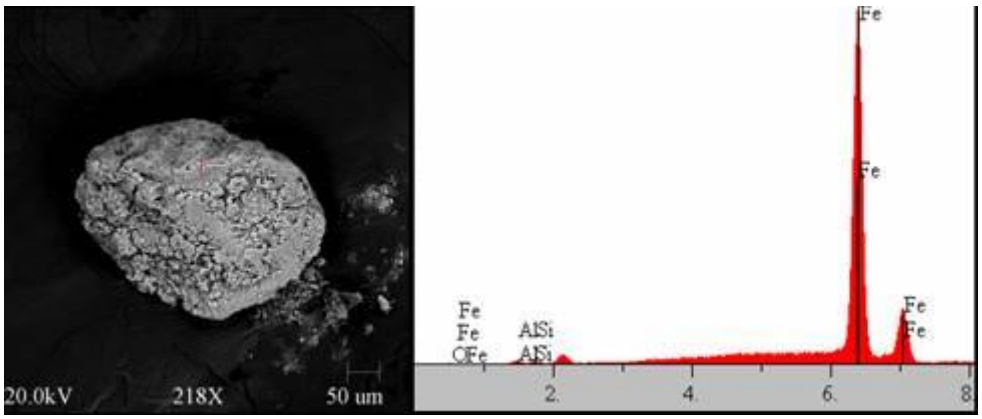

Figura 46 – Grãos de hematitas observadas sob MEV com arredondadas.

6.0 - DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.

6.1 – PROVENIÊNCIA.

Os solos de Terra Preta e Latossolos Amarelos têm a mesma assembléia de minerais pesados com morfologias idênticas, o que sugere que ambos tiveram a mesma origem, como visto anteriormente, as diferenças são significativas em termos de percentual relativo que, por sua vez, resultam apenas de fatores relacionados à processos de dissolução após a formação dos solos e não à proveniência.

As assembléias dos solos de TPA e LA sugerem a participação de fontes metamórficas, ígneas e sedimentares, onde a estaurolita e cianita indicam fontes metamórficas de médio grau.

COSTA et al (2002) coloca ambos os solos como provenientes da formação Formação Alter do Chão.

Nos sedimentos de fundo da baía de Caxiuanã foram identificadas duas assembléias principais de minerais pesados: a primeira, representante de rochas metamórficas, principalmente de metapelitos, constituída por aluminossilicatos (cianita, andaluzita e biotita) e epidoto; e a segunda, composta por minerais de rochas ígneas ácidas a intermediárias, onde, zircão, turmalina e monazita são os principais representantes, seguidos por minerais que podem ocorrer tanto em rochas ígneas, quanto em metamórficas.

A presença dessa assembléia representada, em sua maioria, por epidoto e aluminossilicatos, sugere que as fontes primárias dos sedimentos de fundo da baía de Caxiuanã eram constituídas principalmente de rochas pelíticas metamorfizadas, e secundariamente por rochas ígneas ácidas a intermediárias. Essas rochas são encontradas ao longo do Cráton Amazônico.

6.2 – MATURIDADE DOS SEDIMENTOS.

A assembléia de minerais pesados dos solos de TPA e LA é constituída por minerais ultraestáveis (zircão, turmalina e rutilo) e estáveis (estaurolita, andaluzita, cianita), o que juntamente com padrão morfológico dos grãos, permite caracterizar os mesmos como predominantemente maturos.

Isto é reforçado quando abalizamos os índices ZTR, que nos solos de TPA apresentaram variando de 61 a 74, denotando um alto grau de maturidade, reforçado pela concentração elevada de zircões destes solos.

Por outro lado nos LA o ZTR é ligeiramente menor, de 55 a 70, que sugere que os solos de TPA passaram por condições intempéricas mais severas que os Latossolos.

Já a assembléia de minerais pesados dos sedimentos de fundo da baía de Caxiuanã é constituída por minerais ultraestáveis (zircão, turmalina e rutilo), estáveis (titanita, estaurolita, andaluzita, cianita) e instáveis (epidoto, monazita, micas), o que juntamente com padrão morfológico dos grãos, permite caracterizar os sedimentos da área estudada como predominantemente imaturos. O que é confirmado pelo baixo índice ZTR, que nos sedimentos varia de 35 a 47, sugerindo um intemperismo químico mais brando, que pode ser evidenciado na grande quantidade de epidotos em media 20% e titanitas 4%, encontradas em todas as amostras.

Em ambos os solos de TPA, LA e sedimentos de fundo da baía de Caxiuanã, a presença de indivíduos de mesma espécie mineral a exemplo da turmalina, zircão e ilmenita, com diferentes aspectos morfológicos, mostrando desde grãos angulosos até bem arredondados, sugere sedimentos retrabalhados em outros ciclos e diferenças na localização da área fonte primária.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ADDAD, J. Minerais Pesados: uma ferramenta para prospecção, proveniência, paleogeografia e análise ambiental. São Paulo, 2001. 80 p.

BICUDO, C. E. M. & BICUDO, D. C. Amostragem em Limnologia. São Carlos , Rima, 2004. 371p.

CARMO, M. S. Transferência química na cadeia solo-mandoca-cabelo humano na região de Caxiuanã (Estado do Pará) e sua importância. 2008. 238 f. Tese de doutorado. Instituto de Geociências - UFPA, Belém-PA 2008.

COSTA, M. L., KERN, D. C., BEHLING, H., BORGES, M. S. (2002). Geologia. Parte III Geologia & Solos. In: Pedro Lisboa (org.). Caxiuanã: populações tradicionais, meio físico & diversidade biológica. MPEG, Belém-PA, 2002. p. 179-205.

COSTA, M. L.,; MORAES, E. L.; BEHLING, H.; MELO J. C. V.; SANTOS W. F.; SIQUEIRA, N. V. M. Natureza granulométrica, mineralógica e química dos sedimentos holocênicos do fundo da baia de Caxiuanã (Pará). SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5. Resumos. SBG/NM, 1996. p. 238-241.

FALESI, I. C. Estado atual de conhecimento de solos da Amazônia Brasileira. In: *Anais Proceedins Anales. 1º Simpósio do Trópico Úmido*. Vol I Clima e Solo. Embrapa/CPATU, 1984. p. 138-191.

GIANNINI, P. C. F. & RICCOMINI, C. Sedimentos e processos sedimentares. *IN*: TEIXEIRA, W. et al. In: Decifrando a Terra. Oficina de texto, 2001. p. 167-190.

KOBER, B. Whole-grain evaporation for 207Pb/206Pb-age-investigation on zingle zircons using a double-filament ion source. Contrib. Mineral. Petrology, 1986. p. 486-490.

KOBER, B. Single zircons evaporation combined with Pb+ emitter- bedding for 207Pb/206Pb-age –investigation using thermal ion mass spectrometry, and implications zirconology. Contrib. Mineral. Petrology 96, 1987. p. 63-71.

RICCOMINI, C., GIANNINI, P. C. F. & MANCINE, F. Rios e processos aluviais. *IN*: TEIXEIRA, W. et al. In: Decifrando a Terra. Oficina de texto, 2001. p. 191-214.

KERN, D.C. Caracterização Pedológica de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná-PA. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Departamento de Solos, Tese de Mestrado em Solos. Curso de Pós-graduação em Agronomia, 1988. 231 p.

KERN, D. C. Geoquímica e pedogeoquímica em sítios arqueológicos com terra preta na floresta nacional de Caxiuanã (Portel-PA). Tese de Doutorado. Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará. 1996. 124 p.

LEMOS, A. & SANTOS, P. B. Manual de Descrição e Coleta de Solos em campo. Campinas-SP, Ed. SBCS/SNLCS. 1984. 46 p.

LISBOA, P. L. B. & SILVA, H. P. ECOLOGIA – Caxiuanã: desenvolvimento e preservação. Ciência Hoje. V.29, n. 172, p. 48-50, 2001.

MORTON,A.C. Stability of detrial heavy minerals in Tertiary sandstones from the North Sea Basin. Clay Minerals, 1984. p. 287-308.

MANGE, M. A. & MAURER, H.F.W. Heavy minerals in colour. London, Chapman &Hall, 1992. 147 p.

NASCIMENTO, M. S. Minerais pesados das formações Ipixuna e Barreiras, região de Ipixuna, leste da sub-bacia de Cametá-NE do Pará. Dissertação de Mestrado. Centro de Geociências. UFPA, 2002.

OLIVEIRA M. O. Os minerais pesados e idades de zircões dos sedimentos de praias (barra do pontal) dos rios Purus e Acre no estado do Acre (Brasil). Trabalho de conclusão de curso. Centro de geociências. UFPA, 2005.

SUGUIO, K. Rochas Sedimentares. São Paulo: Edgard Blucher/EDUSP, 1980. 289 p.

TUCKER, M. E. Sedimentary Petrology: An Introdunction. Oxorford: rackwel, 1981. 245 p.