



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

ROBERT DIEGO BORGES DAS NEVES

**ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO MATERIAL EM SUSPENSÃO DA BAÍA DO
GUAJARÁ (BELÉM-PA), ATRAVÉS DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE
VARREDURA E DIFRAÇÃO DE RAIO-X**

Belém
2009

ROBERT DIEGO BORGES DAS NEVES

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO MATERIAL EM SUSPENSÃO DA BAÍA DO
GUAJARÁ (BELÉM-PA), ATRAVÉS DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE
VARREDURA E DIFRAÇÃO DE RAIO-X

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Oceanografia
do Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará – UFPA em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
bacharel em oceanografia.

Orientadora. MSc. Susane Rabelo de Sousa-
Vieira.

Co-orientadora: Pryscilla Denise Almeida da
Silva

Belém
2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

N513m Neves, Robert Diego Borges das

Análise da composição do material em suspensão da baía do Guajará (Belém-Pa), através da microscopia eletrônica de varredura e difração de raio-x / Robert Diego Borges das Neves; orientadora: Susane Rabelo de Souza-Vieira; Co-orientadora: Priscilla Denise Almeida da Silva – 2010

70 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2009.

1. Microscopia eletrônica de varredura 2. Raio X – difração. 3. Análise mineralógica. 4. Baía do Guajará (PA). I. Universidade Federal do Pará. II. Souza-Vieira, Susane Rabelo de, *orient.* III. Silva, Priscilla Denise Almeida da, *coorient.* IV. Título.

CDD 20º ed.: 502.825098115

ROBERT DIEGO BORGES DAS NEVES

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO MATERIAL EM SUSPENSÃO DA BAÍA DO
GUAJARÁ (BELÉM-PA), ATRAVÉS DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE
VARREDURA E DIFRAÇÃO DE RAIO-X

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Oceanografia
do Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará – UFPA em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
bacharel em oceanografia.

Data de defesa: 12 / 01 / 2010

Conceito: Excelente (9,0)

Banca Examinadora:

Susane Rabelo de Souza-Vieira

MSc. Susane Rabelo de Sousa-Vieira – Orientadora
Mestre em Oceanografia Física, Química e Geológica
Universidade Federal do Pará

Elma Costa Oliveira

MSc. Elma Costa Oliveira - Membro
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Silvana do Socorro Veloso Sodré

MSc. Silvana do Socorro Veloso Sodré - Membro
Mestre em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará

À minha avó, Ibelza Galvão Borges,
por todo amor, carinho e apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, o ser que rege a vida de todos.

Agradeço aos meus irmãos e demais familiares, pelo carinho, compreensão, ajuda e pelos ensinamentos.

Agradeço aos meus pais Otácio e Marta por me educarem e me acolherem nos momentos certos.

À minha avó Ibelza, por sempre acreditar em mim, me incentivar e por toda a ajuda que me deu ao longo de minha vida.

Aos professores da Faculdade de Oceanografia, pelos ensinamentos transmitidos.

Ao CNPq, com o Projeto CT-Hidro, que possibilitou as campanhas para amostragem do material.

Ao Museu Paraense Emilio Goeldi e os responsáveis pelo Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMEV), em especial ao Rolf, pela grande ajuda.

Ao prof^o. Dr. Rômulo Simões, responsável pelo Laboratório de difração de raio-x do Instituto de Geociência (IG) da Universidade Federal do Pará.

À minha orientadora, Msc. Susane Rabelo, pelos conselhos e ajuda que possibilitaram a realização deste trabalho.

À minha co-orientadora, Pryscilla, pela amizade, ajuda nas análises do MEV e pelos “puxões de orelha” nos momentos certos: “Pry, obrigado por você existir!”

À geóloga Cristiane Pereira, técnica do laboratório de DRX, pela ajuda com o *software* de tratamento dos dados.

Às professoras Msc. Silvana Veloso Sodré e Elma Costa Oliveira por participarem da banca examinadora e contribuírem para as correções do trabalho.

Aos meus amigos de turma: Cesar, Paulo, Diego, Marcelo, Junior, Handerson, Eurivaldo e às meninas: Érica, Amanda, Celly, Nádia, Hyvana, Ane, Thiely, Suene e Stephanie; pelo companheirismo, tanto nas horas sérias quanto nos momentos de descontração.

Aos “*champs*”: Deyvison, Rennan, Rodrigo “caju”, Marcio, Fábio “japa” e Adjalbas, pela amizade, conselhos e pelas partidas de PES que sempre ajudavam a relaxar.

Aos amigos que fiz enquanto estava na Editora da UFPa (EDUFPA): Sr. Wilson, Zé, Kaká, Rosana, D. Jesus, D. Josy, D. Laís, Deisi, Gleice, Fabrício, Juan, Rose, Arthur, Fred, PC, entre outros.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

*“...Tudo nesse mundo está em eterna mudança,
sempre em movimento, nunca é igual.
Tudo muda e a vida do homem também é assim.”*

Shakyamuni Buddha

RESUMO

Apresenta informações sobre o material em suspensão (MS) na baía do Guajará, sistema fluvial inserido no estuário do rio Pará e fortemente dominado por marés, adjacente a cidade de Belém capital do estado do Pará. O conhecimento dos aspectos do material em suspensão fornece uma ferramenta auxiliar na interpretação da dinâmica oceanográfica e como indicador de províncias fornecedoras de sedimento, ajudando a compreender a evolução sedimentar de uma região. A amostragem foi feita na superfície da água em quatro pontos na margem direita da baía, distribuídos da Ilha do Cumbu (rio Guamá) até o furo do Maguari (baía do Guajará) trimestralmente, ao longo de um ano (Dezembro de 2004 à Setembro de 2005), totalizando 16 amostras. Após a filtragem do material os filtros foram submetidos às análises em microscópio eletrônico de varredura (MEV), juntamente com o sistema de energia dispersiva (EDS), no laboratório de Microscopia eletrônica (LABMEV) do Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG) e difração de raios – x, no Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA). As análises de concentração do MS registraram uma mínima de 2,5mg/L e máxima de 80mg/L, sendo que a mínima foi observada na transição da estiagem para o período chuvoso e a máxima no período chuvoso. O MEV foi utilizado para analisar os constituintes orgânicos e inorgânicos do MS. Através dele foi observada uma composição bastante homogênea, constituída de: bioclastos, diatomáceas cêntricas e penadas, argilominerais, partículas minerais grossas (grãos de quartzo e feldspato) e o mineral pesado estauroлита. Os estudos mineralógicos realizados com a difração de raio – x registraram a presença de quartzo, caulinita, albita, ilita e clorita, e em menor frequência a montmorilonita e feldspato potássico. Esse estudo possibilitou uma visão sobre as partículas em suspensão na área de estudo, entretanto sugere-se uma investigação mais aprofundada levando em consideração outras condicionantes ambientais.

Palavras – chave: Microscopia eletrônica de varredura. Raio X – difração. Análise mineralógica. Baía do Guajará (PA).

ABSTRACT

Presents information on the suspended matter (SM) in the Guajará bay, a river system inserted into the Pará river estuary, strongly dominated by tides and adjacent to the city of Belém the state capital of Pará. Knowledge on the aspects of the suspended material provides a tool to assist the interpretation of the oceanographic dynamics and can act as an indicator of the sediment supply provinces, helping to understand the sedimentary evolution of the region. Sampling was carried out on the water surface, at four points on the right bank of the bay, distributed from the island of Cumbu (Guama river) to the hole Maguari (Guajará bay). Temporally, the sampling occurred quarterly, along one year (December 2004 to September 2005), and for each point, totalizing 16 samples. After filtering the material, the filters were analyzed using electron microscopy (SEM) together with energy dispersive system (EDS), in the laboratory of electron microscopy (LABMEV) of the Museum Paraense Emilio Goeldi (MPEG), and diffraction x-rays, in the Geosciences Institute (GI) of the Federal University of Pará (UFPA). The analysis of the concentration of SM recorded a minimum of 2.5 mg / L and a maximum of 80mg / L, and the maximum was recorded in the rainy season. The SEM was used to analyze organic and inorganic constituents of SM. Through it was observed a rather homogeneous composition, consisting of: bioclasts, pennate and centric diatoms, clay minerals, heavy mineral particles (quartz and feldspar) and heavy mineral staurolite. The mineralogical studies performed with X-ray, recorded the presence of kaolinite, albite, illite and chlorite, and less frequently, the montmorillonite or smectite and feldspar. This study allowed an insight into the particulate matter in the study area, however it is suggested further investigation taking into account other environmental conditions.

Key words: scanning electron microscopy, diffraction – X Ray, mineralogical analysis, Guajará bay (PA).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01-	Mapa de localização dos pontos de coleta.....	22
FIGURA 02-	Ilustração dos pontos de amostragem.....	23
FIGURA 03-	Distribuição de precipitação ao longo de um ano nas estações de Oeiras do Pará, Joana Coeli, Acará e Bujarú.....	28
FIGURA 04-	Bacias hidrográficas que influenciam a baía do Guajará.....	30
FIGURA 05-	Ondulações formadas por vento, na superfície da baía do Guajará.....	32
FIGURA 06-	Garrafa do tipo van dorn.....	35
FIGURA 07-	Sistema de filtração do MS.....	35
FIGURA 08-	Avaliação da cor do MS através de comparação com a Rock – Color Chart.....	36
FIGURA 09-	Representação dos métodos usados na análise Mineralógica.....	37
FIGURA 10-	Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), LEO VP 1450.....	38
FIGURA 11-	Sistema de energia dispersiva (EDS 500 DP).....	39
FIGURA 12-	Suporte metálico de fixação de amostra. a) suporte antes da fixação do filtro de celulose; b) suporte com o filtro de Celulose.....	41
FIGURA 13-	Difratômetro de raios –x de marca PANalytical, modelo X’PERT PRO MPD (PW 3040/60).....	42
FIGURA 14-	Gráfico de concentração de MS para o ponto 1.....	44
FIGURA 15-	Gráfico de concentração de MS para o ponto 2.....	44
FIGURA 16-	Gráfico de concentração de MS para o ponto 3.....	45
FIGURA 17-	Gráfico de concentração de MS para o ponto 4.....	46
FIGURA 18-	Campanha 1 - (A) grão de quartzo; (B) mica (Si,Fe,Al,K); (C) espícula silicosa; (D) Clorita; (E) EDS da clorita.....	47
FIGURA 19-	Campanha 2 – (A) bioclastos silicosos; (B) feldspato sódico; (C) feldspato potássico; (D) diatomácea (<i>Polymyxus coronalis</i>); (E) gipsita; (F) EDS da gipsita.....	48
FIGURA 20-	Campanha 3 – (A)quartzo; (B) grão de quartzo inserido em restos de diatomácea; (C) diatomácea penada (<i>Gomphonema parvulum</i>); (D) diatomácea (<i>Aulacoseira granulatta</i>); (E) diatomácea (<i>Thalassiosira eccentrica</i>); (F) EDS do quartzo.....	49

FIGURA 21-	Campanha 4 – (A) agregado de partículas minerais; (B) grão de quartzo; (C) diatomácea cêntrica (<i>Coscinodiscus</i> sp.); (D) esmectita; (E) feldspato potássico; (F) EDS de esmectita.....	50
FIGURA 22-	Difratograma da amostra P1CP01.....	50
FIGURA 23-	Difratograma da amostra P1CP02.....	51
FIGURA 24-	Difratograma da amostra P2CP03.....	51
FIGURA 25-	Difratograma da amostra P4CP04.....	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 01	Coordenadas dos pontos de amostragem.....	24
TABELA 02	Campanhas de amostragem, nomenclatura das amostras e cenários ambientais em que foram realizadas as coletas de água para a análise de MS.....	35
TABELA 03	Elementos químicos mapeados no EDS.....	40
TABELA 04	Resultados de análises de cor e concentração do MS.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	JUSTIFICATIVA	20
3	OBJETIVOS	21
3.1	OBJETIVO GERAL.....	21
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
4	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	22
4.1	LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS.....	23
5	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – ASPECTOS GERAIS E REGIONAIS	25
5.1	GEOLOGIA.....	25
5.2	GEOMORFOLOGIA.....	25
5.3	VEGETAÇÃO.....	26
5.4	CLIMA.....	27
5.4.1	Regime pluviométrico	27
5.5	HIDROGRAFIA.....	28
5.6	OCEANOGRAFIA.....	31
5.6.1	Ventos e ondas	31
5.6.2	Marés	33
6	MATERIAL E MÉTODOS	34
6.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	34
6.2	CAMPO.....	34
6.3	LABORATÓRIO.....	35
6.3.1	Filtração e cálculo da concentração do material em suspensão	35
6.3.2	Cor	36
6.3.3	Análise da composição do MS	37
6.3.3.1	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	38
6.3.3.1.1	<i>Preparação da amostra</i>	39
6.3.3.2	Difração de raios – x.....	41

7	RESULTADOS	43
7.1	COR E CONCENTRAÇÃO DO MS.....	43
7.2	MICROSCOPIA ELETRÔNICA.....	45
7.3	DIFRAÇÃO DE RAIOS – X.....	50
8	DISCUSSÃO	53
8.1	COR E CONCENTRAÇÃO DO MS.....	53
8.2	COMPOSIÇÃO ORGÂNICA.....	54
8.3	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA.....	54
8.3.1	ARGILOMINERAIS.....	55
8.4	FONTES DE MATERIAL.....	56
8.4.1	Fração orgânica	56
8.4.2	Fração inorgânica	56
9	CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS	59
	ANEXOS	62
	ANEXO A - TÁBUA DE MARÉS REFERENTE AOS DIAS DE AMOSTRAGEM	63
	ANEXO B - DIFRATOGRAMA DE RAIOS – X DAS DEMAIS AMOSTRAS	64
	ANEXO C - MAIS IMAGENS OBTIDAS NO MEV	70

1 INTRODUÇÃO

O material em suspensão (MS) se refere às partículas sólidas em suspensão na água, compostas principalmente de fragmentos minerais de pequenas dimensões (tamanho silte e argila) constituídos por minerais característicos da rocha fonte (quartzo, feldspato) e por minerais secundários (argilominerais), além de substâncias orgânicas (SUGUIO, 1998).

O mineral é definido como uma substância de ocorrência natural, sólida, cristalina, geralmente inorgânica e com uma composição química específica. (PRESS et al., 2006). As principais partículas minerais constituintes do material em suspensão são: quartzo, feldspato (potássico e sódico), argilominerais, calcita/aragonita e opala. E as principais partículas orgânicas estão relacionadas à produção primária (biomassa), como matéria orgânica, sílica e carbonato biogênico oriundo de carapaça de organismos unicelulares pertencentes ao fitoplâncton, que constituem a base da cadeia alimentar dos microorganismos planctônicos do meio aquático (EISMA, 1993).

No MS orgânico destaca-se o fitoplâncton, principal produtor primário dos oceanos e estuários, representado por um conjunto de microalgas que se desenvolvem na zona eufótica. Esta comunidade é a base da teia alimentar aquática e é formada por diversos grupos taxonômicos, tais como Bacillariophyta (diatomáceas), Dynophyta (dinoflagelados), Haptophyta (cocolitoforídeos), Cryptophyta, Prasinophyta, Cyanophyta e Chlorophyta (SANTANA, 1999).

O conhecimento sobre a composição florística da comunidade fitoplanctônica é fundamental porque além de constituir a base da produtividade primária, também funciona como indicadora de alterações ambientais, uma vez que pelo seu caráter dinâmico e sensibilidade as microalgas são as primeiras a responderem a perturbações físico-químicas do ambiente.

A área em estudo é a Baía do Guajará (48°32'W, 48°29'W, 1°15'S e 1°29'S), que se forma na confluência dos rios Acará e Guamá, localizada em frente à parte noroeste da cidade de Belém, prolongando-se até as proximidades da ilha de Mosqueiro, onde se encontra com a baía do Marajó, no rio Pará, (PINHEIRO, 1987). Por se tratar do principal corpo d' água adjacente à capital do

Estado do Pará, tem sido palco para diversos trabalhos, sobretudo no âmbito das geociências.

Os estuários são a parte terminal de uma bacia hidrográfica, ambientes dinâmicos e de alta produtividade primária que apresentam gradientes verticais e horizontais de salinidade. Pitchard (1981) os definiu como um corpo de água costeiro semi-fechado que apresenta ligação livre com o oceano aberto, estendendo-se rio acima até o limite de influência da maré, tendo em seu interior a água salina mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental. O estuário age como um filtro biogeoquímico reciclando nutrientes e outras substâncias que chegam até ele em concentrações elevadas, antes de transferi-las ou exportá-las para a zona marinha (CHESTER¹, 1993) apud (MOURA, 2007).

Assim a concentração da composição orgânica e inorgânica que são componentes do material em suspensão total (MST) pode variar espaço-temporalmente, resultado da maior ou menor influência exercida pela vazão fluvial e de maré em uma região estuarina. De acordo com Hartmann; Calliari (1995), esta concentração é um parâmetro que pode ser medido rotineiramente como componente de qualquer estudo oceanográfico. Sendo uma propriedade conservativa das águas naturais, que se modifica de acordo com as condições climáticas, hidrológicas e de maré local.

Biggs (1970) observou que o aporte e saída do material em suspensão (MS) nos sistemas estuarinos são variados e dinâmicos, as fontes de materiais podem ser externas (introduzidas pelo fluxo de água doce); marginais (erosão da linha de costa); eólica ou internas (principalmente produção biológica). Os materiais podem escapar do sistema por sedimentação, fluxo da água e oxidação orgânica. Cada processo de entrada ou saída pode ocorrer de acordo com um ciclo sazonal. Além disso, o material de fundo do sistema pode ser ressuspensionado e redistribuído por correntes e ação das ondas.

¹ CHESTER, R. 1993. *Marine Geochemistry*. London, Unwin Hyman. 698f.

O MS estará sujeito ao ciclo sedimentar, no qual o sedimento é produzido a partir da ação química, física e biológica do intemperismo sobre as rochas, em seguida será erodido e transportado (SUGUIO, 1980).

O principal meio de transporte dos sedimentos dos continentes para os oceanos é pela ação das águas. Regiões com clima tropical e vegetação exuberante geram, através da decomposição química dos solos, um maior volume de sedimentos finos, que são transportados principalmente por suspensão, através dos rios. Apesar dos sedimentos serem transportados por três modos: arrasto, saltação e suspensão, o modo predominante de transporte dos sedimentos finos é por suspensão, principalmente devido ao seu tamanho reduzido e por estarem invariavelmente em estados floculados, em agregados de alta porosidade e teor de matéria orgânica, mesmo em condições de baixa energia, velocidades baixas são capazes de fornecer turbulência necessária para manter sedimentos finos em suspensão. DYER² (1986) apud ALMEIDA (2008).

A área em estudo é composta por rios de água branca, que apresentam maior quantidade de sedimentos em suspensão. Sioli (1951) apud Cordeiro (1987) considera a maior turbidez no estuário do rio Pará ao rio Amazonas, contestando o fato de o rio Tocantins ser a área fonte, por ser este pobre em transportar material em suspensão. Considera, ainda, que o material em suspensão do baixo Guamá não se origina no alto curso e nem no tributário (rio Capim) deste rio, devido aos mesmos apresentarem águas claras (com baixo teor de material em suspensão) na sua porção superior.

Entretanto, Kowsmann; Costa³ (1979) apud Cordeiro (1987) atribuem ao Tocantins, principal afluente do rio Pará, a determinação na mineralogia transportada pelo rio Pará até a plataforma continental. Segundo os autores, as contribuições cratônicas do Pré-cambriano e as do neógeno, provenientes do baixo curso do rio Tocantins parecem predominar na carga despejada sobre a plataforma sobre o rio Pará. Os minerais argilosos são os mesmos transportados

² DYER, K. R. *Coastal and estuarine sediment dynamics*. 1986. New York, J. Wiley & Sons, 342 p.

³ KOWSMANN, O. R.; COSTA, M.P.A. Sedimentação quaternária da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes. In: Petrobrás. *Projeto Remac*. Recolhimento global da margem continental brasileira. 1979. Rio de Janeiro. v. 8.

pelo rio Amazonas, havendo, um acréscimo de caulinita em relação à illita e ocorrência de baixas concentrações locais de esmectita e illita.

Cordeiro (1987) considerou que a maior fonte do material em suspensão para a região estuarina em estudo é a própria área, visto que é constituída por terrenos alagáveis pouco desenvolvidos, além das contribuições fluviais dos rios Amazonas, Guamá, Tocantins e outros. Tendo observado através de difratometria de raios-x que nos sedimentos em suspensão havia predominância de caulinita e illita, com a esmectita em baixos teores.

Nesse contexto, o presente trabalho propõe uma análise do material em suspensão (MS), orgânico e inorgânico, através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectrometria por energia dispersa (EDS) e difração de raios-x, que permitiram observar a micromorfologia do material e a identificação dos sólidos em suspensão que circulam no estuário guajarino.

A microscopia eletrônica de varredura é utilizada em várias áreas do conhecimento, incluindo a mineralogia. O uso desta técnica vem se tornando mais freqüente por fornecer informações de detalhe, com aumentos de até 300.000 vezes. A imagem eletrônica de varredura é formada pela incidência de um feixe de elétrons no mineral, sob condições de vácuo. A incidência do feixe de elétrons no mineral promove a emissão de elétrons secundários, retroespalhados, auger e absorvidos, assim como de raios X característicos e de catodoluminescência. Ao MEV pode ser acoplado o sistema de EDS, o qual possibilita a determinação pontual dos elementos químicos (análise semiquantitativa) presente nas amostras, a partir da emissão de raios X característicos. (REED, 1996) apud (DUARTE et al, 2003).

Outro método utilizado é a difração de raios X, neste processo ocorre a incidência de feixes de raios X no material, esses feixes interagem com os átomos presentes no mesmo gerando difração.

Albers et al (2002), considerou que entre as vantagens da utilização desta técnica estão a simplicidade e rapidez do método, a confiabilidade dos resultados obtidos (pois o perfil de difração obtido é característico para cada fase cristalina),

além da possibilidade de análise de materiais compostos por uma mistura de fases e uma análise quantitativa destas fases.

As amostras analisadas são produto de um monitoramento realizado em 4 (quatro) pontos fixos, que se estendiam da Ilha do Cumbú até o Furo do Maguari. As campanhas foram realizadas trimestralmente durante 1 (um) ano, constituindo 4 (quatro) cenários distintos que são: transição estiagem/chuvoso (Dezembro), chuvoso (Março) transição chuvoso/estiagem (Junho) e estiagem (Setembro). Esse monitoramento estava inserido no Projeto: *Diagnóstico da qualidade ambiental na Baía do Guajará (Belém-Pa) utilizando indicadores químicos e biológicos*, desenvolvido junto ao curso de Oceanografia do Instituto de Geociências – IG, da Universidade Federal do Pará – UFPA, financiado pelo CNPq (Edital CT-Hidro).

2 JUSTIFICATIVA

O material em suspensão é parte integrante do ciclo sedimentológico e representa para o meio aquático, além de outros, o aumento da turbidez da água, tendo influência na produtividade primária.

O conhecimento dos aspectos do material em suspensão fornece uma ferramenta auxiliar na interpretação da oceanografia dinâmica e como indicador de províncias fornecedoras de sedimento, ajudando a compreender a evolução sedimentar da região, haja visto que as partículas minerais em rios, lagos e estuários refletem os tipos de rochas e condições intempéricas das áreas fontes.

As contribuições mineralógicas, o fitoplâncton, entre outros aspectos, constituem a base para vários processos biogeoquímicos que ocorrem no ambiente estuarino, sendo que a mineralogia primária dos sedimentos em suspensão é o fator determinante na composição dos minerais de fundo.

Outro ponto a ser considerado é a grande capacidade de floculação dos sedimentos finos (maiores constituintes do MS), devido a esta propriedade permite que se agreguem, formando flocos de maior tamanho, com maior velocidade de deposição e maior capacidade de adsorver espécies dissolvidas, como poluentes metálicos, servindo como importante indicador de qualidade ambiental.

Compreende-se então, que o estudo da qualidade e composição mineralógica do MS permite obter informações a respeito da procedência do material, bem como as possíveis relações com os demais parâmetros ambientais.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Obter uma visão global dos constituintes associados ao material em suspensão que circulam na Baía do Guajará.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os constituintes mineralógicos do MS;
- Analisar a micromorfologia dos minerais e dos organismos;
- Identificar os principais organismos presentes no material em suspensão
- Abordar o tipo de constituinte inorgânico e orgânico com o cenário investigado. A fim de observar se ocorre ou não variação.

4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo compreende a margem direita da Baía do Guajará adjacente à cidade de Belém no estado do Pará (FIGURA 01), os pontos de coleta estendem-se dos limites da Ilha do Cumbu, na foz do Rio Guamá, até o Furo do Maguari, canal de maré que separa o Distrito de Icoaraci da Ilha de Caratateua, onde situa-se o Distrito do Outeiro. A área enquadra-se dentro dos paralelos $01^{\circ}17.850'$ Latitude S e $01^{\circ}28.329'$ Latitude S e dos meridianos $048^{\circ}30.651'$ Longitude W e $048^{\circ}30.427'$ Longitude W, distante cerca de 120 km do Oceano Atlântico.

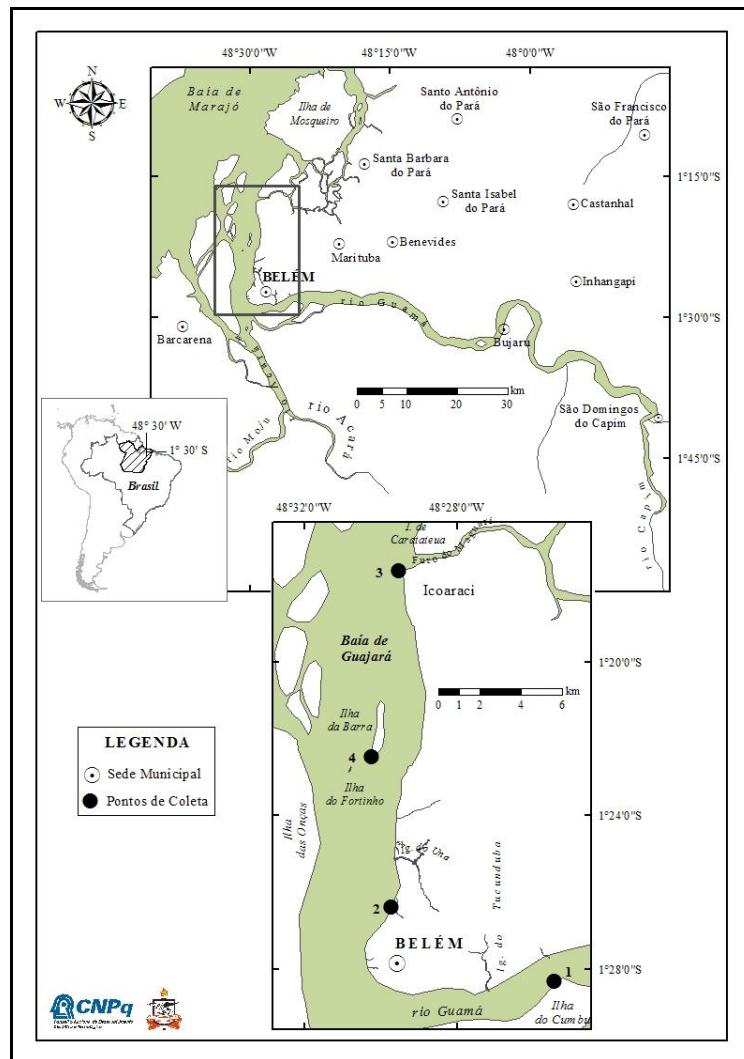


Figura 01 – Mapa de localização dos pontos de coleta.

4.1 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS

O material analisado foi coletado em 4 (quatro) pontos, sendo um deles no Rio Guamá e os outros ao longo da Baía do Guajará (FIGURA 02), tendo suas coordenadas de acordo com a tabela 01.

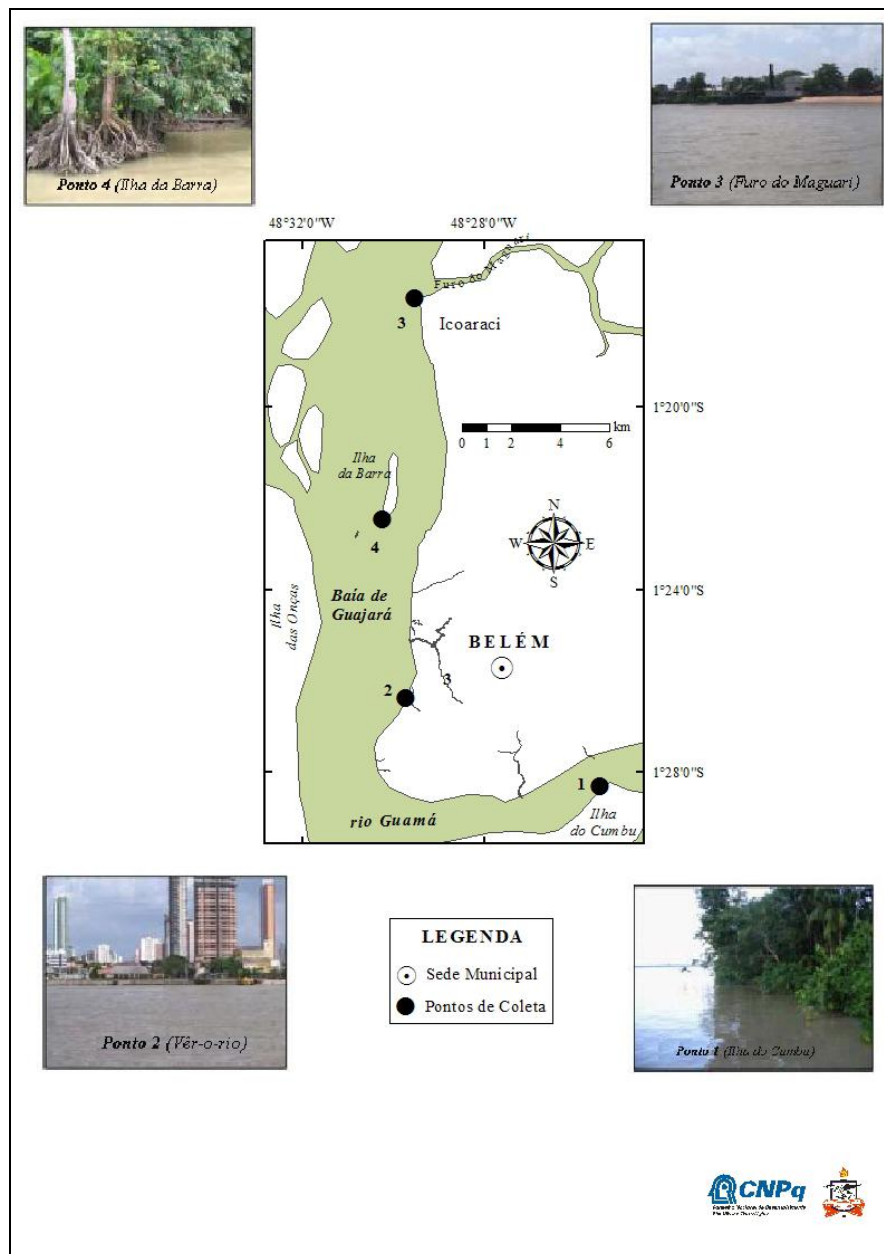


Figura 02 – Ilustração dos pontos de amostragem.

TABELA 01 – Coordenadas dos pontos de amostragem.

Ponto	Latitude	Longitude
1	01°28.329' S	048°25.463'W
2	01°26.405' S	048°29.725'W
3	01°17.850' S	048°29.502'W
4	01°17.850' S	048°29.502'W

a) Ponto 1

Localiza-se em área rasa, nos limites da Ilha do Cumbu, foz do Rio Guamá, próximo à linha de transmissão Guamá-Utinga.

b) Ponto 2

O ponto 2 localiza-se no banco da cidade de Belém (área rasa onde tem formada uma barra), nas proximidades do Ver-o-Rio.

c) Ponto 3

O ponto 3 está inserido em um canal, localizado no Furo do Maguari.

d) Ponto 4

O ponto 4 está localizado próximo à Ilha da Barra.

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – ASPECTOS GERAIS E REGIONAIS

5.1 GEOLOGIA

O arcabouço estratigráfico da região é caracterizado pelas formações Pirabas e Barreiras, constituindo as sequências A e B (Mioceno), e os sedimentos Pós-Barreiras, representando a sequência C (Plioceno-Quaternário) (ROSSETTI⁴, 2001 apud SARAIVA, 2007).

Segundo Saraiva op. cit., a sequência A corresponde litoestratigraficamente à Formação Pirabas (depósitos carbonáticos) e a parte inferior da Formação Barreiras (depósitos arenosos e argilosos), que se interdigitam lateralmente. A sequência B, que é exclusivamente siliciclástica, corresponde à parte superior da Formação Barreiras. Os sedimentos siliciclásticos da Formação Barreiras são interpretados como produtos de amplas planícies entre-cortados por canais de maré. A sequência C é argilo-arenosa e exibe estrutura maciça, tendo seu contato com a Formação Barreiras marcado por um nível com seixos e blocos principalmente lateríticos. Os depósitos mais novos são representados por sedimentos aluvionares.

5.2 GEOMORFOLOGIA

Segundo Ackermann (1969) os terrenos litorâneos de toda a região costeira do estado do Pará sofreram um ataque pelo mar, que destruiu grande parte da antiga costa transportando grés-do-Pará de seu horizonte primitivo para um inferior, ficando os mesmos cobertos por extensos lamaçais ou praias com a formação de novas ilhas ou faixas costeiras.

Morfologicamente, da região de Belém até a região de contato entre os terrenos do neógeno e os cretáceos do norte e os do sul, estende-se uma rampa

⁴ ROSSETTI, D. F. Late cenozoic sedimentary evolution in northeastern of Pará, Brazil, withing the context of sea level changes. *Journal of South American Earth Sciencies*, 2001. v. 14, p. 77-89

ascendente, incluindo tão somente uns níveis de aplainações embutidas, terrenos fluviais e alongados, e não muito largas calhas aluviais meândricas de baixos vales de rios tributários do golfão marajoara. As drenagens dos rios Meruu, Mojú-Acará, Açú-Acara Mirim e Capim-Guamá drenam conseqüentemente a rampa geral sul-norte dos tabuleiros situados o encaixado rio Tocantins e o baixo platô da região bragantina (AB' SABER, 1986).

5.3 VEGETAÇÃO

Estudos sobre a vegetação que margeia a Baía do Guajará foram descritos por Pinheiro (1987), segundo o mesmo, a vegetação está condicionada aos fatores geomorfológicos, distinguindo-se predominantemente três tipos: 1) vegetação de várzea, típica de área inundável, sob controle periódico das marés; 2) vegetação de floresta densa associada aos terrenos mais elevados (de terra firme); 3) florestas secundárias, associadas à áreas desmatadas, ocupando uma apreciável distribuição na região.

A vegetação de várzea domina a área(em torno de 60% da região), sua composição florística depende da relação entre o relevo e o regime de marés. Apresentando dois sub-ambientes: as zonas permanentemente inundáveis (igapós) e as regiões mais elevadas (várzea alta).

As matas de terra-firme por estarem situadas em terras altas, distantes dos rios, estão sujeitas a alterações. São formadas por árvores alongadas e finas, apresentando espécies como a castanha-do-pará, o cacaueiro e as palmeiras. Possuem grande quantidade de espécies de madeira de alto valor econômico. As matas de várzea, periodicamente inundadas pelas cheias dos rios, apresentam maior variedade de espécies. É o habitat da seringueira e das palmáceas. E as matas de igapós também situadas em áreas baixas, próximas ao leito dos rios, permanecem inundadas durante quase o ano todo. As árvores são altas, com raízes adaptadas às regiões alagadas. A vitória-régia é muito comum nestas matas.

5.4 CLIMA

O clima da região é do tipo equatorial úmido, classificado segundo Koppen na categoria “A”, com características gerais que permitem seu enquadramento nos subtipos “Af”, “Aw” e “Am” (COSANPA, 1987). Nessa área o clima se caracteriza por uma isoterma com amplitudes menores que 20°C, tomando-se como base as temperaturas médias dos meses mais quentes e mais frios (Penteado, 1968 apud Pinheiro 1987).

5.4.1 Regime pluviométrico

Na região amazônica, a estação chuvosa desenvolve-se com maior intensidade de dezembro a junho e a estação de menor índice pluviométrico, que representa o “período de estiagem”, ocorre de julho a novembro. No entanto os meses não se apresentam bem definidos e não existe uma repartição muito uniforme das chuvas durante o ano, isso pode ser observado através do gráfico de precipitação máxima, obtido em estações sob responsabilidade da ANA (Agência Nacional de Águas), que se localizam nos principais rios que desembocam na baía do Guajará (FIGURA 03). Esse regime pluviométrico exerce grande influência sobre os rios da região, aumentando a vazão dos mesmos, e conseqüentemente no estuário guajarinense.

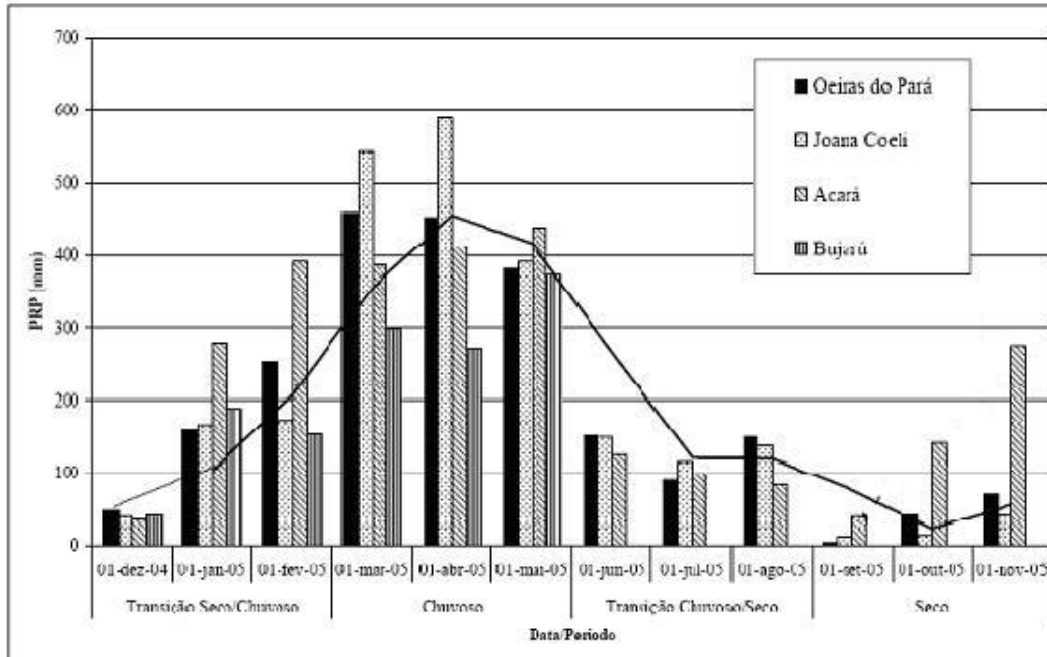


Figura 03 – Distribuição de precipitação ao longo de um ano nas estações de Oeiras do Pará, Joana Coeli, Acará e Bujarú.

Fonte: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>

5.5 HIDROGRAFIA

A área de estudo está inserida no estuário do rio Pará, composto em sua maior extensão pelo próprio rio Pará. Pinheiro (1987) definiu este rio como um canal flúvio-estuarino que separa a borda sul da ilha do Marajó da porção continental nordeste do Pará, citando como seus principais afluentes os rios Anapú; Tocantins, que se encontra com o Pará na Baía do Maratapé, Acará Grande e Guamá, à direita; e os rios Ararí e Camará, pela margem esquerda, provenientes da ilha do Marajó.

Na confluência dos rios Acará e Guamá, forma-se a denominada Baía do Guajará, localizada em frente a parte noroeste de Belém, prolongando-se até as proximidades da ilha de Mosqueiro, onde se encontra com a baía do Marajó, no rio Pará. Numerosas ilhas e canais compõem a margem esquerda da Baía do Guajará, sobressaindo-se a Ilha das Onças, Jararaca, Mirim, Paquetá-Açú e Jutuba. Ao longo da margem direita segue-se a cidade de Belém e mais a norte,

separadas pelos furos do Maguari e das Marinhas, as Ilhas de Outeiro e Mosqueiro, respectivamente. Com relação aos canais que cruzam estas ilhas destacam-se por sua importância à navegação local, o Canal do Carnapijó, um prolongamento do rio Acará em direção ao rio Pará; o Canal do Cotijuba, posicionado nas imediações da Ilha de mesmo nome, servindo de ligação entre a Baía do Guajará e o Rio Pará, e o Canal da Piramanha que atravessa a Ilha das Onças desde em frente à cidade de Belém até o Canal do Carnapijó defronte ao furo do Arrozal.

De acordo com Pinheiro (1987) um aspecto importante a ser considerado, diz respeito ao Rio Guamá e sua relação ao seu principal afluente, o Rio Capim. Após uma análise de sua rede de drenagem é possível concluir que, na verdade, o Capim representa o eixo principal do sistema. Sendo, portanto, o Rio Guamá o seu afluente. Esta área sofre influência de três bacias hidrográficas, a do rio Amazonas, dos rios do atlântico e do rio Tocantins (FIGURA 04),

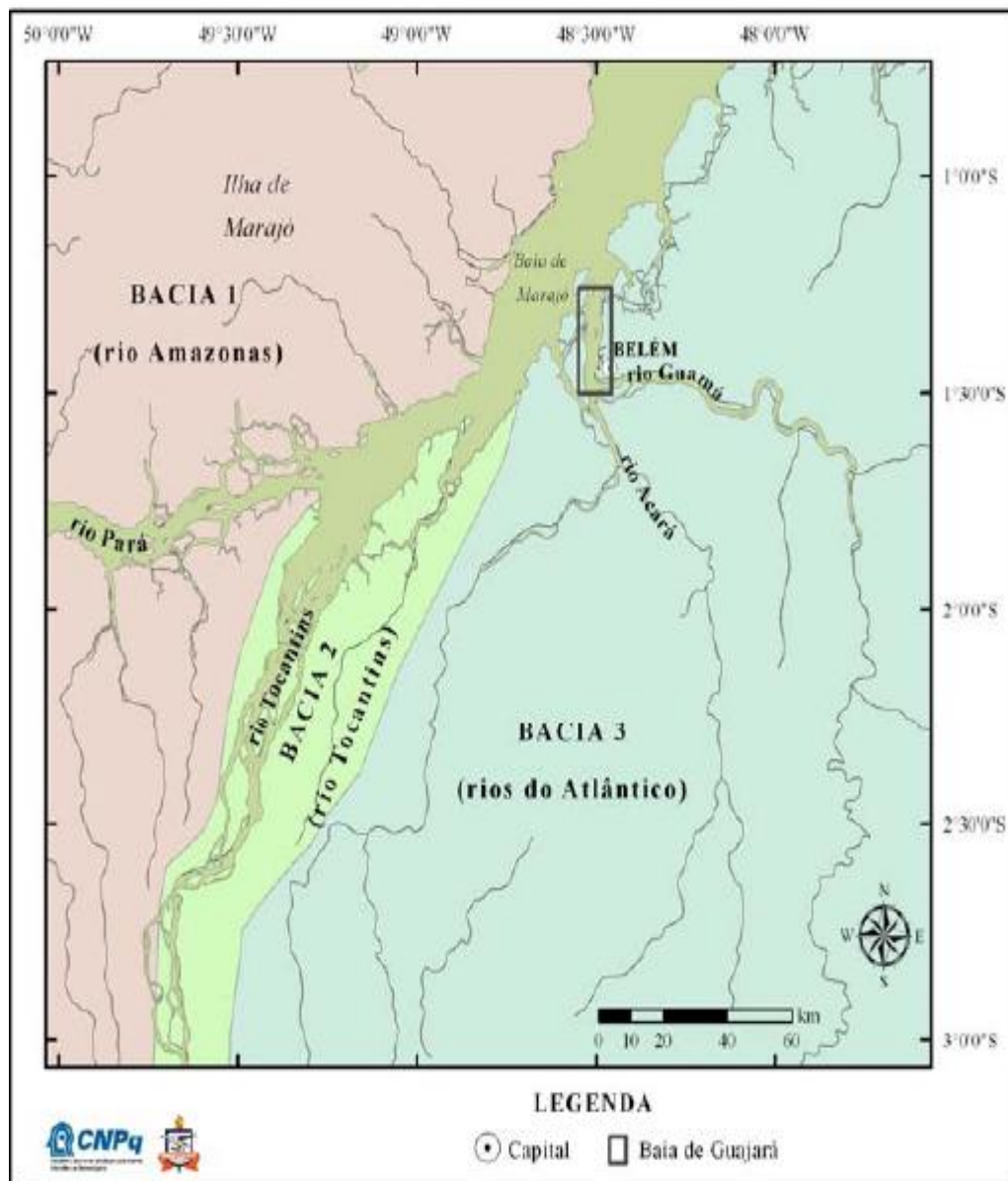


Figura 04 – Bacias hidrográficas que influenciam a baía do Guajará.

5.6 OCEANOGRAFIA

5.6.1 Ventos e ondas

Pinheiro (1987) observou dois conjuntos principais de ventos predominantes na área da Baía do Guajará. Estes conjuntos mantêm direções variando entre N-NE e ENE-ESE, respectivamente e velocidades médias mensais sempre em torno de 2 a 4 nós. Dados de variações diárias dos ventos indicam que no período das primeiras horas da manhã até cerca de 12-14 horas, há predominância dos ventos provenientes do quadrante E. No período vespertino entre 15-16 horas, prolongando-se até o final da noite, há uma predominância dos ventos de direção variando em torno do quadrante N-NE. De acordo com o mesmo autor, é possível definir três momentos importantes na dinâmica dos ventos na baía do Guajará.

O primeiro momento corresponde à ausência de ventos predominantes ou ventos fracos, as águas mostram-se calmas com marulhos e ondas regulares e pouco deformadas, com período variando entre 4 e 8 segundos e altura de poucos decímetros; em um segundo momento, predominam ventos ENE-ESSE forte a moderado, com formação de ondas forçadas irregulares com período variando de 3 a 5 segundos, que dependendo da profundidade do local de propagação apresentam comprimento de onda variando de cerca de 14m até aproximadamente 40m, com celeridade variando entre 4,57m/s e 7,66m/s e velocidade de grupo entre 2,51 e 4,15m/s geralmente com características de rebentação do tipo deslizante, sob tais condições destes ventos, ondas de até 1m ocorrem quase sempre associadas às marés vazantes, quando o fluxo da água está em oposição a formação do vento, ou mesmo, quando a velocidade deste atinge valores máximos; e, por último, em um terceiro momento ocorre os ventos predominantes na direção N-NE forte a moderado, provocando a formação de ondas forçadas, irregulares que quase sempre dominam toda a Baía do Guajará, caracterizadas por apresentar períodos em torno de 3 a 4 segundos e, frequentemente, alturas superiores a 1m, com comprimento variando entre 14 e

25m, celeridade entre 4,57m/s e 6,23m/s e velocidade máxima no fundo de aproximadamente 0,39m/s, estas ondas ocorrem principalmente durante o período menos chuvoso, predominando no turno vespertino, atingindo alturas máximas, em torno de 1,5m, sobretudo quando a maré encontra-se em fluxo de vazante e em condições de ventos muito forte.

A superfície da água na baía do Guajará, mesmo em condições de ventos fracos, caracteriza-se por um sistema relativamente agitado, sobretudo pela ação de correntes de marés, com presença freqüentes de ondulações irregulares, definindo claramente um regime de fluxo turbulento. Apesar da forte imposição das correntes de marés, as ondas geradas pelos ventos (FIGURA 05) representam um importante agente na dinâmica do estuário Guajará, as quais propiciam a mistura das águas e a ressuspensão praticamente constante dos sedimentos de fundo nos bancos e margens (PEREIRA, 2001).



Figura 05 – Ondulações formadas por vento, na superfície da baía do Guajará.

Foto: Próprio autor

5.6.2 Marés

A superfície da água na baía do Guajará, mesmo em condições de ventos fracos, caracteriza-se por um sistema relativamente agitado, sobretudo pela ação de correntes de marés, com presença freqüentes de ondulações irregulares, definindo claramente um regime de fluxo turbulento. Nas marés de sizígia e enchente ocorrem as velocidades máximas de 1,89 m/s (PINHEIRO, 1987).

O mecanismo de entrada da maré salina na Baía do Guajará se dá no período entre o final da vazante e início da enchente, quando as águas provenientes dos Rios Guamá e Guajará-Açu, com valores de salinidade relativamente baixos (0,04 - 0,12), ocupam todo o canal de vazante pela margem esquerda do estuário (Canal da Ilha das Onças). Por outro lado, no canal de enchente, registram-se valores de salinidade variando entre 0,15 - 0,42, indicando nitidamente a entrada das águas mais condutivas salobras e não fluviais (PINHEIRO, 1989).

A hidrodinâmica do estuário Guajará o caracteriza como um sistema de circulação uniforme, que no período entre a preamar e baixa-mar tende a ser homogêneo e com baixas concentrações iônicas na superfície (PINHEIRO, 1987).

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Primeiramente foi feito um levantamento bibliográfico sobre os assuntos abordados no trabalho e sobre a área em estudo. As referências encontradas serviram como embasamento teórico sobre os aspectos da região em estudo e, sobretudo, nas técnicas de análise utilizadas.

6.2 CAMPO

As coletas de água foram realizadas trimestralmente de dezembro de 2004 a setembro de 2005, totalizando quatro campanhas, correspondendo ao início do período chuvoso, no período chuvoso, no início do período de estiagem e no período de estiagem, respectivamente (TABELA 02). Para obtenção das amostras de água utilizou-se garrafa do tipo Van Dorn (FIGURA 06) com capacidade de coletar até 2,5 litros de água, sob condição de maré vazante.



Figura 06 – Garrafa do tipo van dorn.

Foto: Sousa-Vieira. S.R.

TABELA 02 – Campanhas de amostragem, nomenclatura das amostras e cenários ambientais em que foram realizadas as coletas de água para a análise de MS.

Cenário ambiental	Mês de coleta	Ano	Campanha	Amostra (ponto 1)	Amostra (ponto 2)	Amostra (ponto3)	Amostra (ponto4)
Transição estiagem-chuvoso	Dezembro	2004	1	P1CP01	P2CP01	P3CP01	P4CP01
Chuvoso	Março	2005	2	P1CP02	P2CP02	P3CP02	P4CP02
Transição chuvoso-estiagem	Junho	2005	3	P1CP03	P2CP03	P3CP03	P4CP03
Estiagem	Setembro	2005	4	P1CP04	P2CP04	P3CP04	P4CP04

6.3 LABORATÓRIO

6.3.1 Filtração e cálculo da concentração do material em suspensão

Para a realização das análises laboratoriais as amostras de água foram armazenadas em garrafas de 1 litro, de polietileno previamente limpas, as quais ficaram refrigeradas, para posteriormente serem analisadas no Laboratório de Hidroquímica, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará, onde foram retiradas do resfriamento e mantidas a temperatura ambiente para filtração do material em suspensão (MS), através do método gravimétrico.

O volume filtrado foi de 300 ml, através de uma bomba à vácuo de marca Millipore (FIGURA 07), através de filtros de membrana de celulose com porosidade de $0,45\mu\text{m}$ e 47 mm de diâmetro, pré-pesado em balança analítica de precisão (Metler H 54).



Figura 07 – Sistema de filtração do MS.

Fonte: Monteiro, S. M. (2004).

Após a filtração o material concentrado no filtro foi lavado com água destilada sucessivas vezes, para a remoção do sal solúvel, em seguida o material foi seco em estufa à 40°C durante 1 (uma) hora e novamente pesado em balança analítica de precisão para o cálculo da concentração (em mg/L). Para a realização do cálculo da concentração, utilizou-se o método de Strickland & Parsons (1972), onde é feito o cálculo do MS mediante a diferença de peso do filtro antes e após a filtração do MS.

6.3.2 Cor

A determinação da cor do MS foi feita com o auxílio de uma tabela de cores Rock-Color Chart (The Rock – Color Chart Committee, 1979). A cor é avaliada por comparação do material retido no filtro, com a Rock-color Chart (FIGURA 08), onde a cor, a tonalidade e a intensidade são expressas por número e letras, segundo a metodologia de Hartman (1985).



Figura 08 – avaliação da cor do MS através de comparação com a Rock – Color Chart.

Foto: Próprio autor

6.3.3 Análise da composição do MS

As análises foram feitas no microscópio eletrônico de varredura, com o auxílio do sistema de energia dispersiva (MEV/EDS), neste equipamento foi possível identificar os componentes orgânicos e inorgânicos do material. Na difração de raios-x, foi possível verificar a composição mineralógica. Na figura 09 é mostrado o esquema analítico a que as amostras foram submetidas, para análise de minerais.

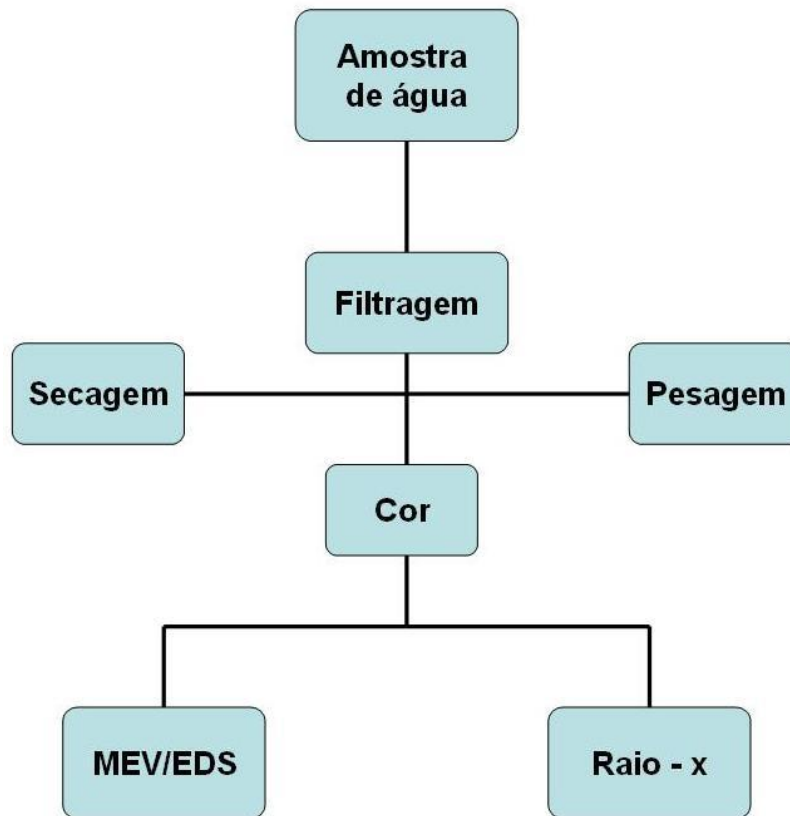


Figura 09 – Representação dos métodos usados na análise mineralógica.

6.3.3.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para a análise semi-quantitativa do material em suspensão, foi usado um microscópio eletrônico de varredura (MEV) de marca LEO 1450 VP (FIGURA 10), que permite observar a morfologia dos principais constituintes dos sólidos em suspensão, além de capturar imagens. Além disso foi realizada a micro análise por um sistema de energia dispersiva – EDS (modelo Gresham 500 DP) (FIGURA 11) para identificação pontual dos elementos químicos constituintes do MS. Este equipamento pertence ao Laboratório De Microscopia Eletrônica De Varredura (LABMEV) do Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG).



Figura 10 – Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), LEO VP 1450.

Foto: Próprio autor



Figura 11 – sistema de energia dispersiva (EDS 500 DP).

Foto: Próprio autor.

6.3.3.1.1 *Preparação da amostra*

Para a análise no MEV, uma parte de aproximadamente 1cm x 0,5cm do filtro foi retirada, com o auxílio de uma tesoura e fixada em uma plataforma circular metálica (*stub*), através de uma fita de carbono dupla face. Sendo anexados dois fragmentos do filtro por *stub*.

A imagem no MEV se forma através da incidência de um feixe de elétrons no material a ser analisado, sob condições de vácuo, para ajudar na condutividade deste feixe, foi colocada uma pequena quantidade de liga de prata (Ag) na parte inferior direita de cada *stub*. Antes de serem levadas ao microscópio, as amostras foram metalizadas com ouro (Au) através do EMITEC K550. Após a metalização as amostras foram submetidas à vácuo (ordem de 10^{-5} à 10^{-6} Torr) na câmara de emissão do sistema MEV sob condições de emissão de feixes de elétrons e velocidade de varredura (aceleração dos elétrons) de 17kv.

O EDS (Energy Dispersive System) possibilita a determinação da composição qualitativa e semi-quantitativa das amostras, a partir da emissão de raios – x característicos, foi utilizado para classificar o material inorgânico, permitindo o mapeamento da distribuição de elementos químicos por minerais, gerando mapas composicionais de elementos desejados, que no presente estudo foram dispostos de acordo com o tabela 03. Estes elementos foram escolhidos, por serem os principais componentes das rochas que ocorrem na região e suas adjacências.

TABELA 03 – Elementos químicos mapeados no EDS.

Elemento	Símbolo
Oxigênio	O
Sódio	Na
Magnésio	Mg
Alumínio	Al
Silício	Si
Enxofre	S
Potássio	K
Cálcio	Ca
Manganês	Mn
Ferro	Fe
Cobre	Cu
Titânio	Ti

6.3.3.2 Difração de raios – x

As análises por difração de raios-x foram realizadas no laboratório de difração de raios – x do Instituto de Geociências da UFPA. Os 16 filtros foram fixados em um suporte metálico (FIGURA 12a) após fixados (FIGURA 12b) foram levados para análise no difratômetro de raios-x de marca PANalytical, modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60) (FIGURA 13), com Goniômetro PW 3050/60 (Theta/Theta) e com tubo de raios - x cerâmico de anodo de cobre (Cu) ($K\alpha_1$ 1,540598 Å), modelo PW3373/00, foco fino longo, 2200W, 60 Kv. O detector utilizado é do tipo RTMS, X' Celerator. Os registros foram realizados no intervalo 5 a 75° 2 θ . A aquisição de dados foi feita com o *software X'Pert Data Collector*, versão 2.1, e o tratamento dos dados com o *software X'Pert HighScore* versão 2.1b, também da PANalytical.

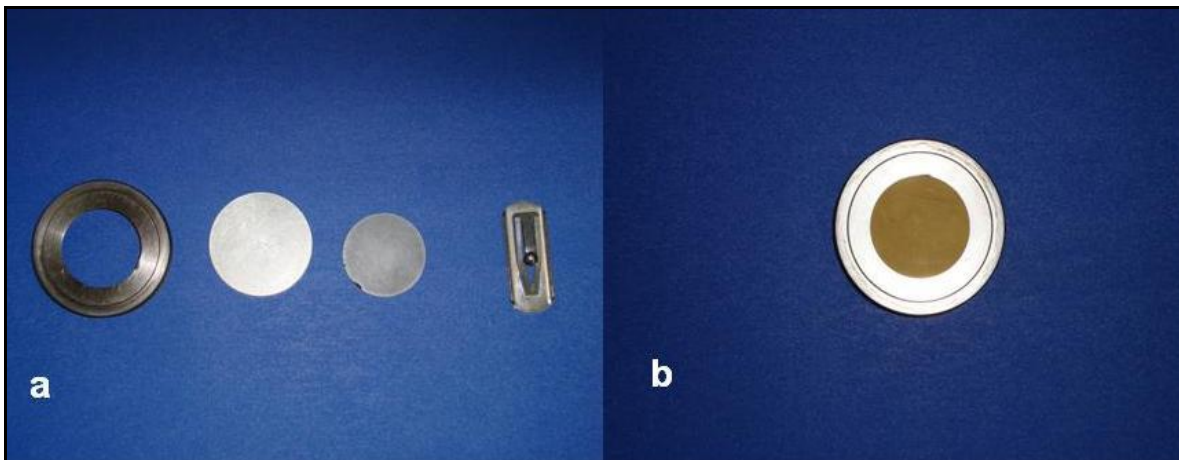


Figura 12 – Suporte metálico de fixação de amostra. a) suporte antes da fixação do filtro de celulose; b) suporte com o filtro de celulose.

Foto: Próprio autor.



Figura 13 – Difratorômetro de raios -x de marca PANalytical, modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60).

Foto: Próprio autor.

7 RESULTADOS

7.1 COR E CONCENTRAÇÃO DO MS

Os resultados das análises de cor e concentração do material em suspensão serão apresentados na tabela 04.

TABELA 04 – Resultados de análises de cor e concentração do MS.

AMOSTRAS	MS (mg/L)	COR
P1CP01	3,71	10 YR 8/2
P1CP02	80,33	10 YR 5/4
P1CP03	24,50	10 YR 6/6
P1CP04	39,00	10 YR 7/4
P2CP01	2,75	10 YR 8/2
P2CP02	4,50	10 YR 8/2
P2CP03	12,17	10 YR 6/6
P2CP04	44,83	10 YR 6/6
P3CP01	3,00	10 YR 8/2
P3CP02	31,45	10 YR 6/6
P3CP03	12,83	10 YR 8/6
P3CP04	22,83	5 Y 8/4
P4CP01	11,60	10 YR 8/2
P4CP02	77,96	10 YR 5/4
P4CP03	7,83	10 YR 8/6
P4CP04	39,00	10 YR 8/6

A maioria das amostras apresentou cor do tipo 10 YR (marrom amarelado), variando apenas a tonalidade e intensidade, com destaque para a 10 YR 8/2 (alaranjado pálido) que ocorreu em 5 amostras. Para a concentração de MS, foram construídos gráficos de variação para cada ponto, mostrados nas figuras de 14 à 17.

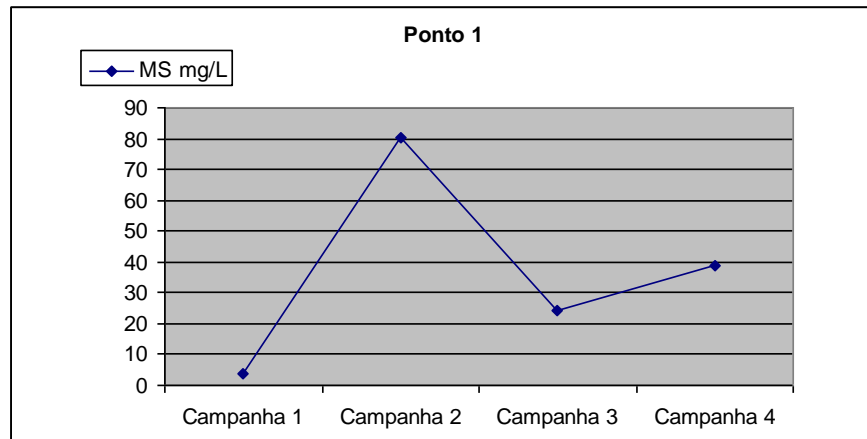


Figura 14 – Gráfico de variação de MS para o ponto 1.

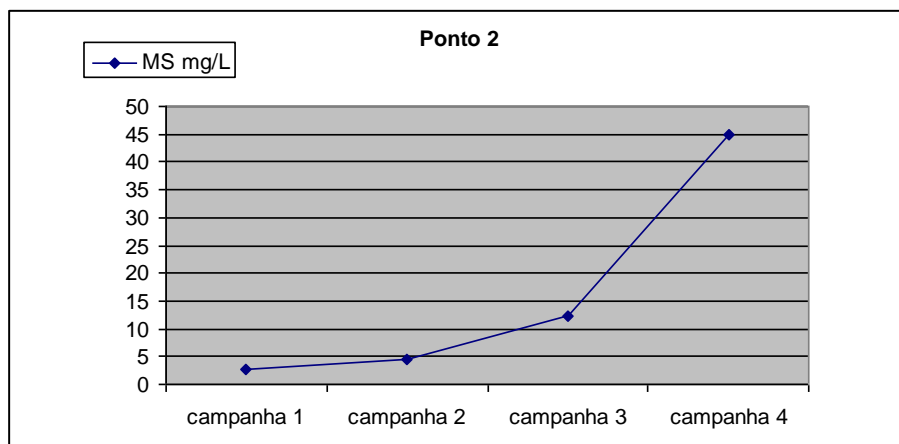


Figura 15 – Gráfico de variação de MS para o ponto 2.

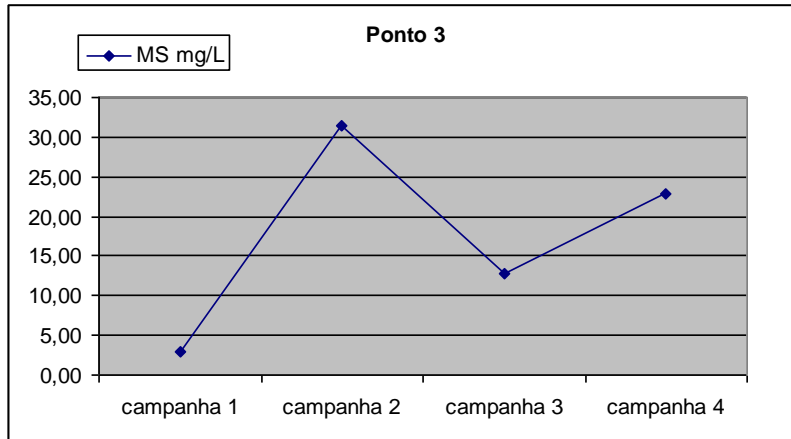


Figura 16 – Gráfico de variação de MS para o ponto 3.

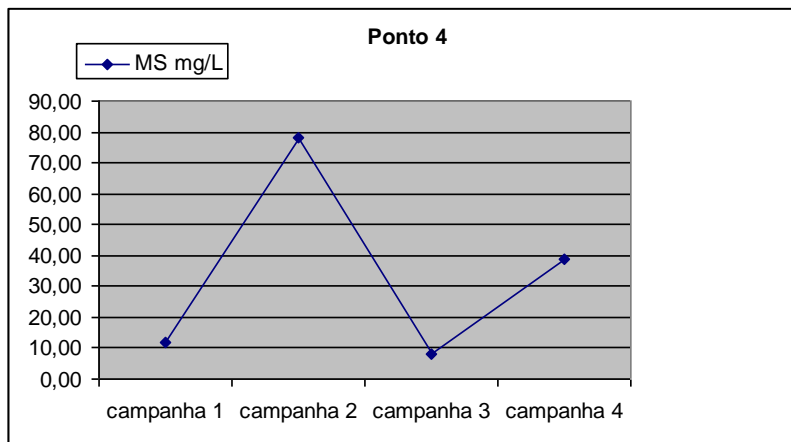


Figura 16 – Gráfico de variação de MS para o ponto 4.

7.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA

Os resultados obtidos serão mostrados de acordo com os cenários ambientais a que as coletas de material foram submetidas (TABELA 02), e são mostrados nas figuras de 14 à 17.

a) Transição estiagem – chuvoso (campanha 1)

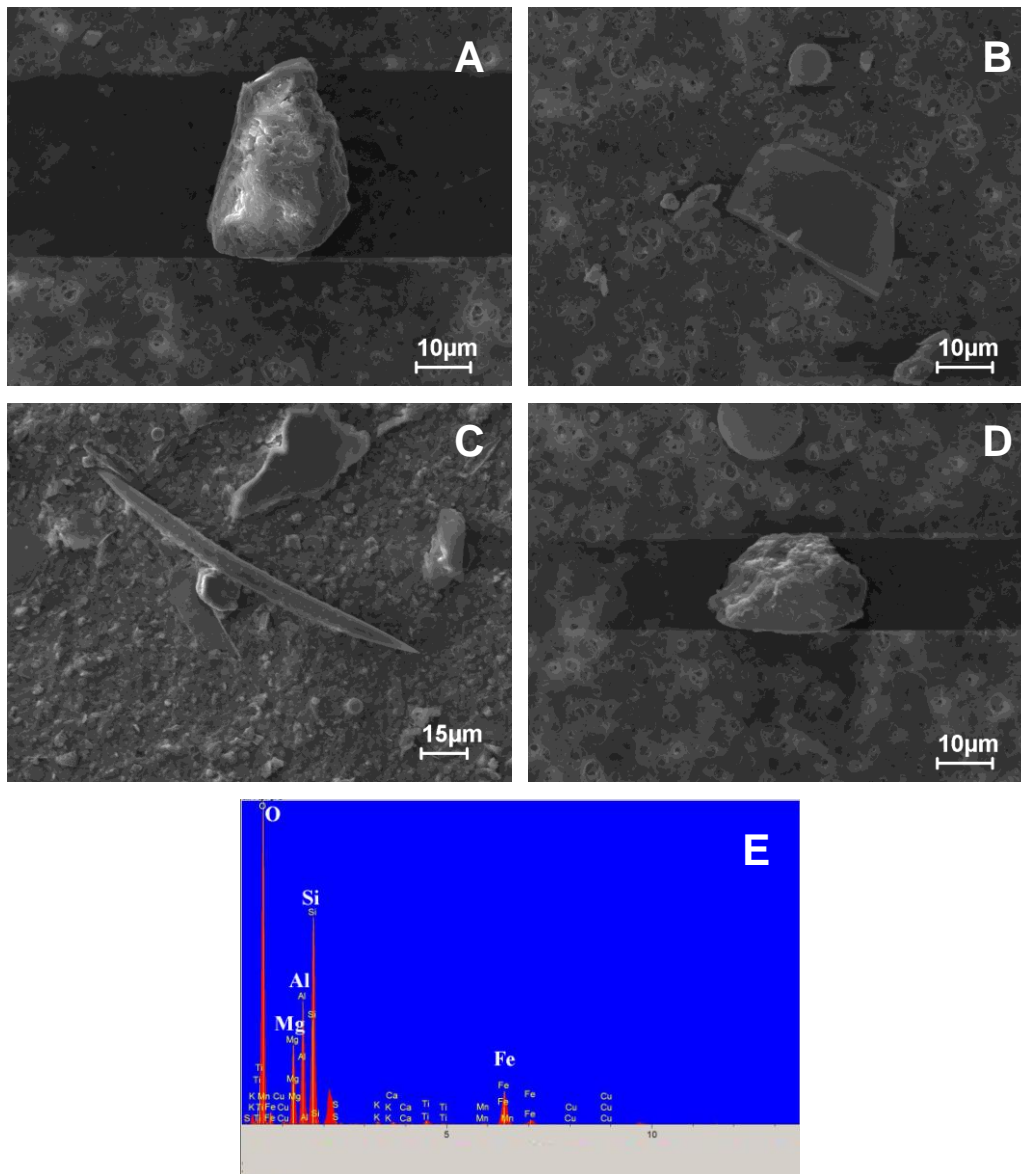


Figura 18 – Campanha 1 - (A) grão de quartzo; (B) mica (Si,Fe,Al,K); (C) espícula silicosa; (D) Clorita; (E) EDS da clorita.

b) Chuvoso (Campanha 2)

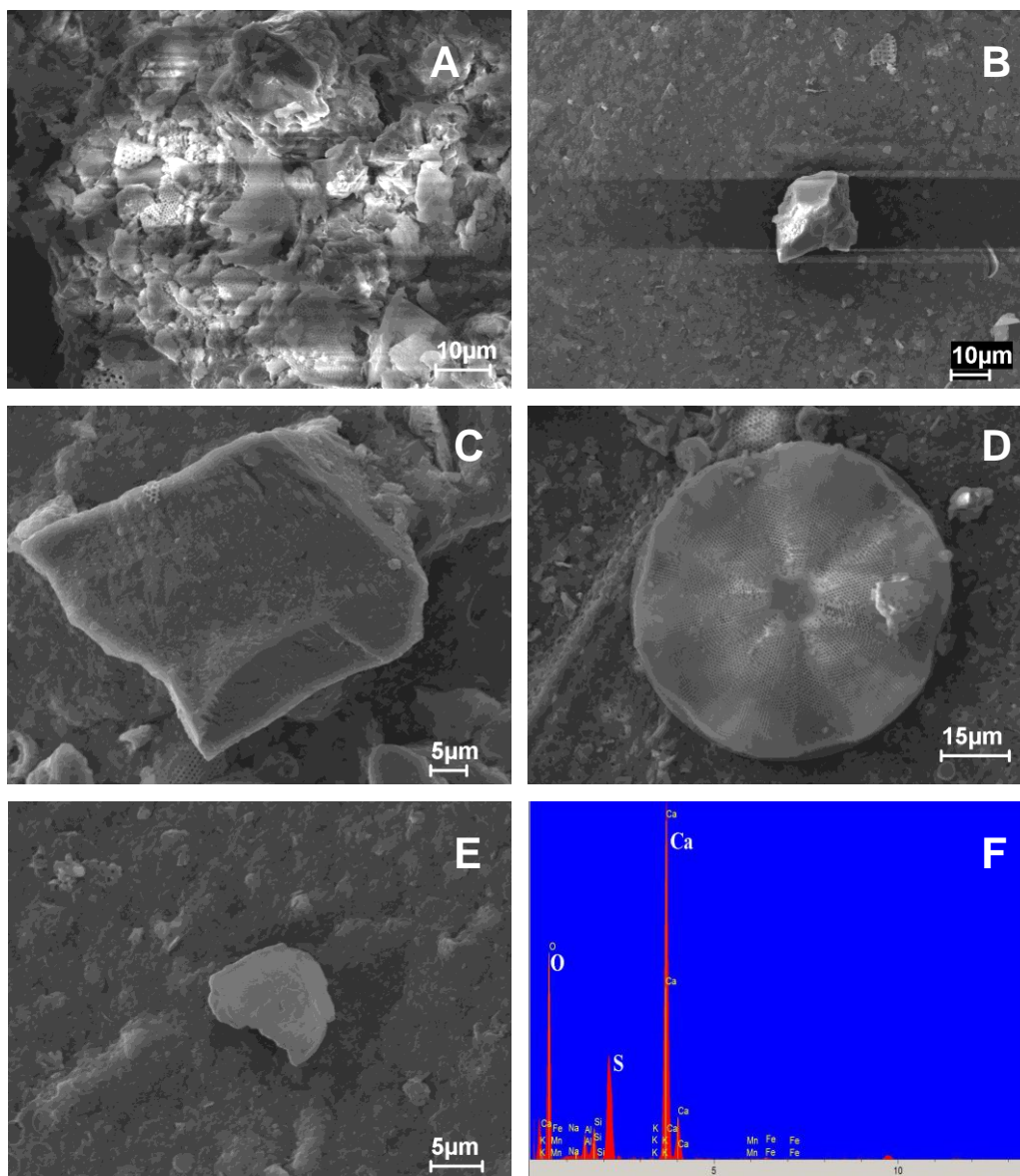


Figura 19 – Campanha 2 – (A) bioclastos silicosos; (B) feldspato sódico; (C) feldspato potássico; (D) diatomácea (*Polymyxus coronalis*); (E) gipsita; (F) EDS da gipsita.

d) Estiagem (Campanha 4)

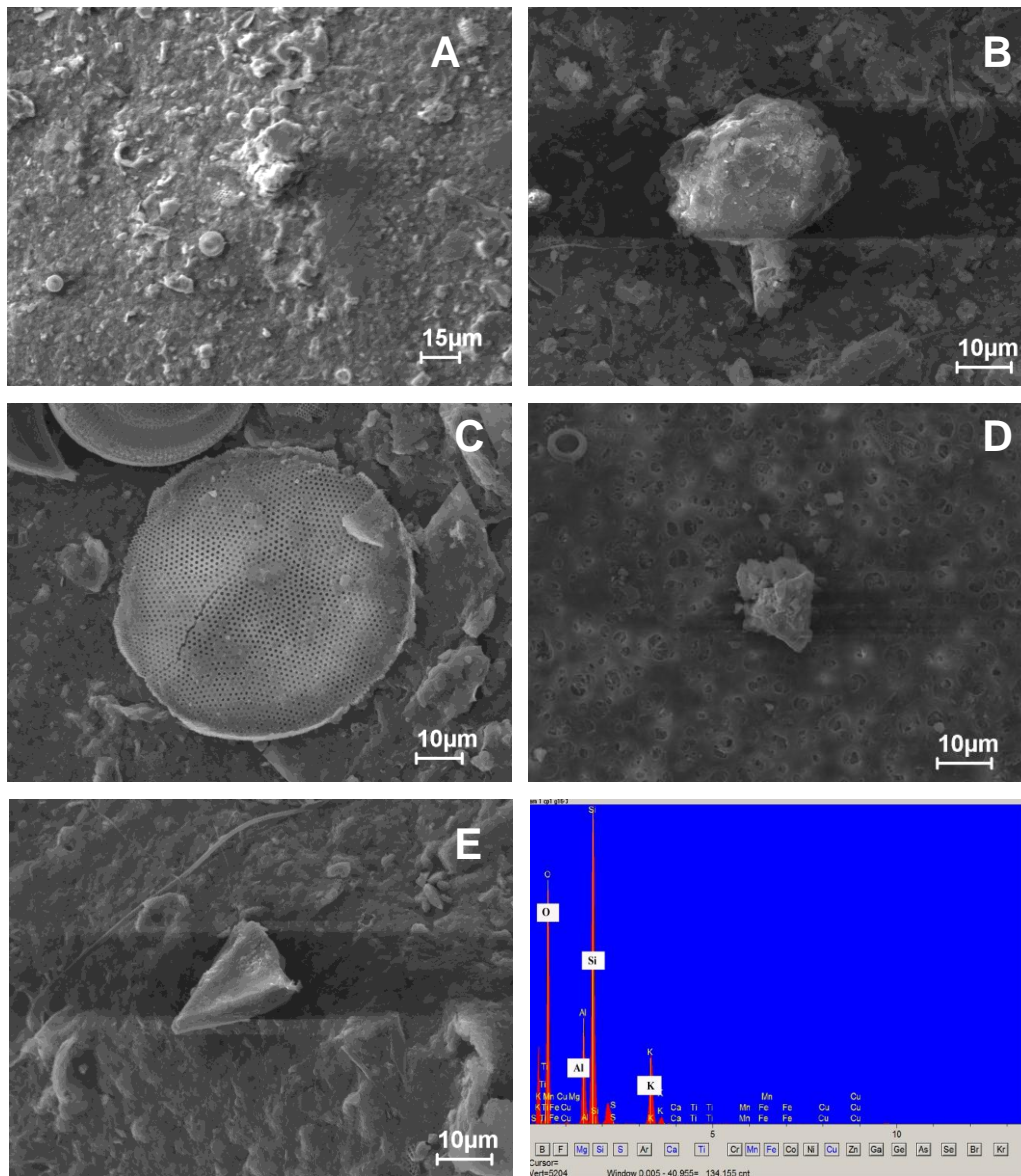
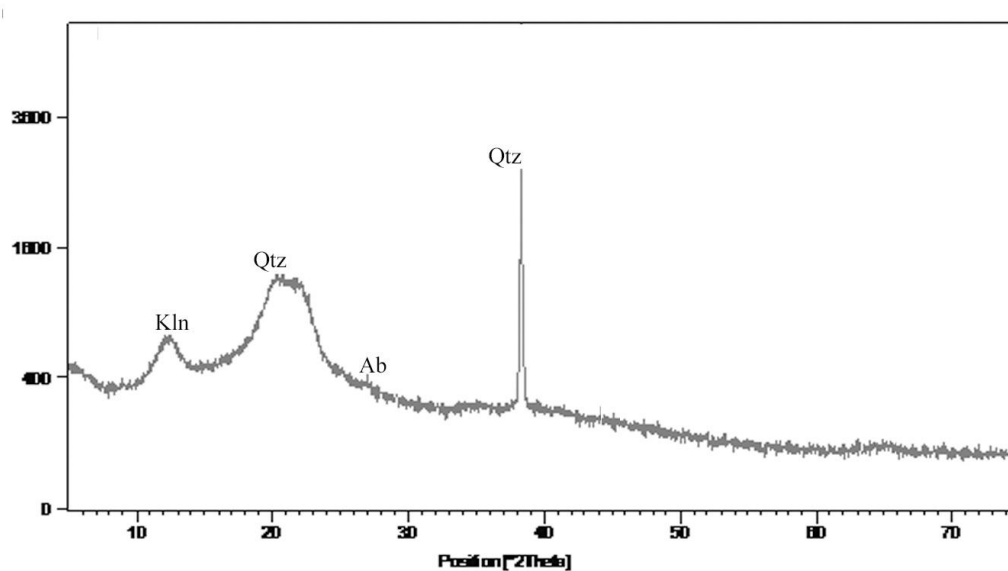


Figura 20 – Campanha 4 – (A) agregado de partículas minerais; (B) grão de quartzo; (C) diatomácea cêntrica (*Coscinodiscus* sp.); (D) esmectita; (E) feldspato potássico; (F) EDS de esmectita.

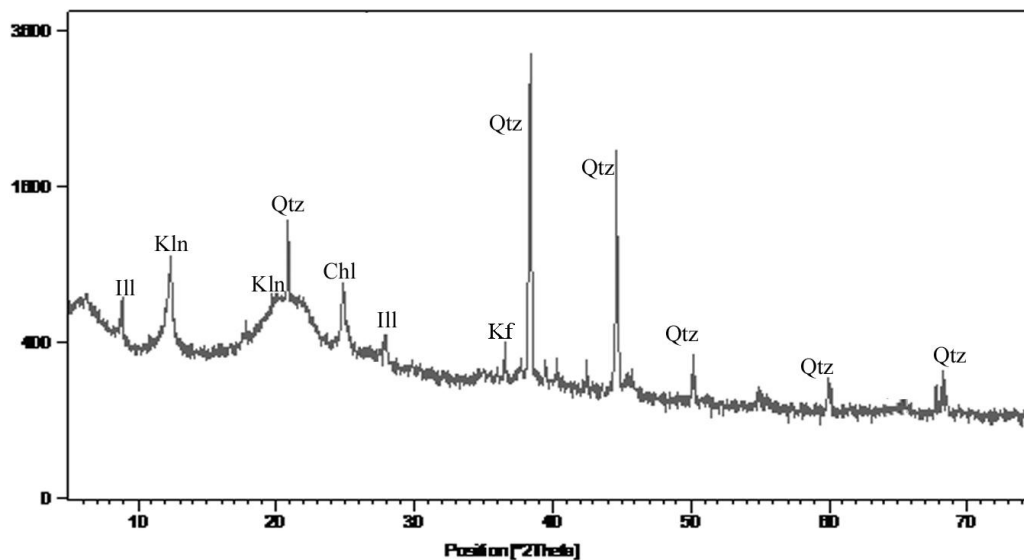
7.3 DIFRAÇÃO DE RAIOS – X

Os resultados obtidos podem ser visualizados nos difratogramas das figuras 19 à 22 e mostraram que a composição mineralógica da área em estudo é de: quartzo, caulinita, albita, ilita e clorita, e em menor freqüência a montmorilonita ou esmectita e feldspato potássico.



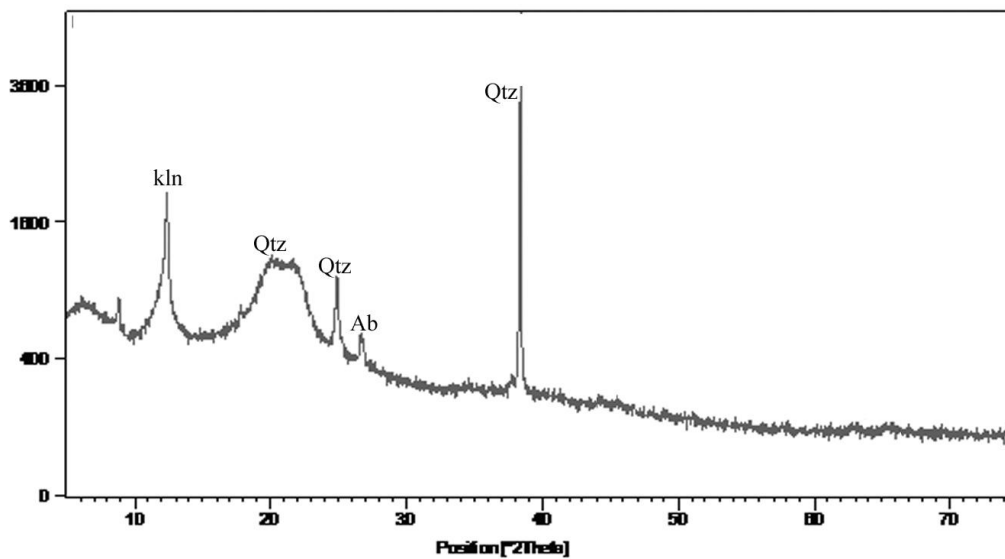
Ab: Albita Kln: Caulinita Qtz: Quartzo

Figura 21 – Difratograma da amostra P1CP01



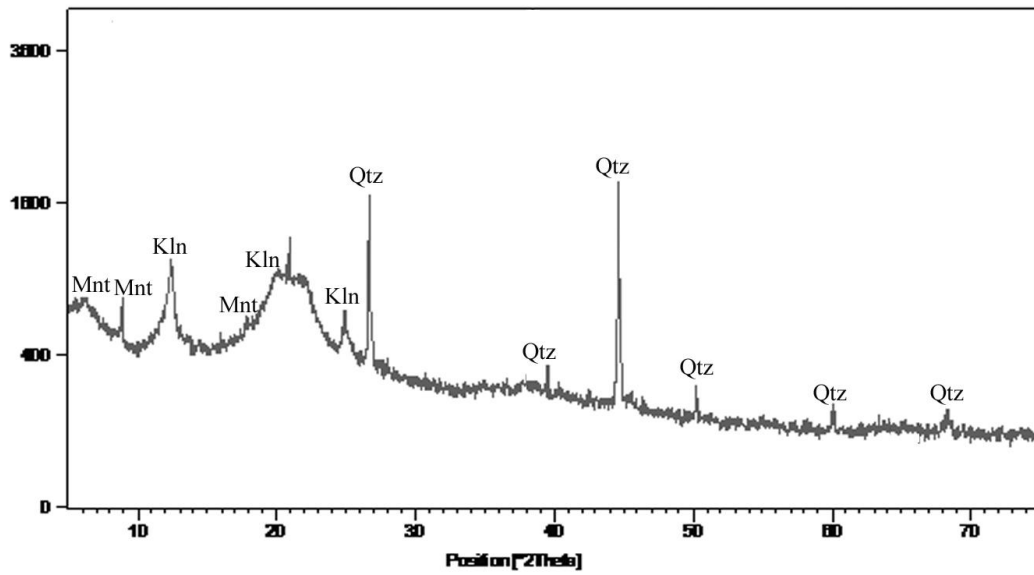
Ill: Ilita Kf: Feldspato Potássico Kln: Caulinita Qtz: Quartzo

Figura 22 – Difratoograma da amostra P1CP02



Ab: Albita Kln: Caulinita Qtz: Quartzo

Figura 23 – Difratoograma da amostra P2CP03



Kln: Caulinita **Mnt:** Montmorilonita **Qtz:** Quartzo

Figura 24 – Difratoograma da amostra P4CP04

8 DISCUSSÃO

8.1 COR E CONCENTRAÇÃO DO MS

Na análise da cor dos MS, as amostras P1CP01, P2CP01, P3CP01, P4CP01 e P2CP02 apresentaram a coloração 10 YR 8/2 (alaranjado pálido) que indica baixa concentração de material em suspensão, esses valores coincidiram com baixas concentrações em mg/L de MS. As demais apresentaram coloração marron amarelada, que comumente ocorre em águas como as da região.

Dados levantados por Pinheiro & Faria Jr. (1989), no ano de 1986, demonstraram diferenças de concentração média do material em suspensão entre os períodos chuvoso e menos chuvoso, sendo obtido um valor de 115,06 mg/L para o primeiro período e 97,61mg/L para o segundo. Porém, bem mais importante, segundo os autores, é a diferença nas concentrações de material em suspensão durante as marés de sizígia e quadratura, onde no período chuvoso, as águas de maré de sizígia apresentaram concentrações média de material em suspensão em torno de 130 mg/l, enquanto que em quadratura 100 mg/l, já no período menos chuvoso a concentração média nas águas de marés de sizígia é de 141mg/l e em quadratura em torno de 94mg/l de sólidos em suspensão.

No presente trabalho, através dos resultados obtidos em mg/L, da concentração dos sólidos em suspensão, pôde-se perceber concentração de MS com valores médios de 26,14 mg/L. A mínima ocorreu no mês de Dezembro (2,5 mg/L) e a máxima no mês de Março (80,33 mg/L). Estes valores estão dentro das expectativas, pois se aproximam de valores antes observados, devido ao fato de os rios que compõem a baía serem rios de água brancas, que são ricos em material em suspensão. (CORDEIRO, 1987).

As maiores variações ocorreram entre os períodos de menor e maior precipitação pluviométrica sendo que no período menos chuvoso foi encontrada a menor concentração de MS, isso porque nos períodos de maior precipitação o transporte de sedimentos para as águas fluviais é mais intenso. Entretanto as amostras foram coletadas no início da maré vazante e esses valores não podem

ser tomados como um padrão. Tendo em vista que Pinheiro; Faria Jr. (1989) observaram que os valores máximos de material em suspensão ocorrem normalmente próximos a baixa-mar. Considerando que os estofos de maré ocorrem entre 30 e 60min antes das mudanças de sentido das correntes, é possível afirmar que as concentrações máximas surgem no final do fluxo de vazante. Em profundidade, as concentrações são geralmente maiores que na superfície, ocorrendo as vezes inversões.

8.2 COMPOSIÇÃO ORGÂNICA

A análise do material orgânico em suspensão revelou a presença de espículas silicosas, restos vegetais e frústulas de diatomáceas. Foram identificadas 18 espécies da divisão Bacillariophyta na análise em MEV. As espécies estão distribuídas em 03 classes, 08 ordens, 11 famílias e 14 gêneros. Foram definidas 09 morfoespécies, tendo em vista o grau de limpeza das amostras que dificultaram a visualização dos caracteres de diagnose.

As espécies mais freqüentes foram *Polymyxus coronalis*; *Aulacoseira granulata*; *Cyclotella striata*; *Thalassiosira eccentrica*; *Coscinodiscus* sp. e *Skeletonema* sp.; assim como nos resultados obtidos por Paiva (1991) a espécie *Polymyxus coronalis* caracterizou a área estudada ocorrendo em todos os pontos amostrados. Não foi observada variação espaço-temporal na distribuição das diatomáceas ao longo da baía do Guajará nas amostras analisadas.

8.3 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

Uma das principais características das águas do estuário Guajará é sua elevada turbidez, apresentando valores em torno de 44,65 NTU segundo Monteiro (2006). Esses valores conferem às mesmas um aspecto “barrento”, o conteúdo do material em suspensão é de tal ordem que a camada ótica é de apenas poucos centímetros (PINHEIRO & FARIA JR. 1989)

Os resultados encontrados nas análises em MEV e difratometria de raios-x corroboraram os resultados obtidos por outros autores na região, entre eles Pinheiro (1897), Cordeiro (1987) e Saraiva (2007), para sedimentos em suspensão e de fundo na baía do Guajará. Os mesmos verificaram que o material inorgânico transportados pelos rios que compõem o estuário guajarino tem em sua constituição principal quartzo e argilo-minerais, apresentando ainda, alguns feldspatos.

As análises por difração de raios-x foram feitas para minerais totais e não apenas para a fração dos argilo-minerais, contudo foi possível a identificação dos mesmos nos difratogramas. Ao MEV pôde-se perceber que durante o período chuvoso, as partículas minerais apresentaram maior desgaste, como pode ser observado na figura 15(A), tal fato pode estar associado à maior vazão neste período, causando maior atrito entre os grãos, entretanto a variação sazonal da mineralogia foi pouco perceptível, sendo praticamente inexistente, como fora observada em trabalhos anteriores, na mesma região.

8.3.1 ARGILOMINERAIS

Os argilo-minerais são os principais constituintes minerais dos argilitos e estão misturados em várias proporções com outros minerais tais como quartzo, feldspatos, entre outros (GOMES. 1988).

Os argilominerais são formados em ambientes de baixa pressão e temperatura, sendo a origem geralmente relacionada ao intemperismo, seguido de erosão, transporte (principalmente fluvial) e sedimentação. O tipo de argilomineral depende, basicamente, do tipo de cátion presente no sistema. Assim, a caulinita tende a não se formar em presença de alcalinos e alcalino-terrosos. A montmorilonita e a esmectita são formadas na presença de magnésio e metais alcalinos e a illita, a partir de soluções potássicas. Em vista disso, produtos de alteração distintos podem resultar de uma mesma rocha mãe devido à variação de

fatores como clima, tempo, topografia e vegetação (LEMES⁵ et al., 2003 apud SARAIVA 2007).

Os resultados dos difratogramas mostraram a ocorrência de caulinita e albita em várias amostras. Entretanto nas imagens obtidas pelo MEV esse mineral foi pouco observado, uma possível explicação, é o fato de que no MEV apenas uma pequena parte do filtro de celulose, onde o material foi filtrado, era analisada, enquanto que na difração de raios-x a análise ocorria em todo o filtro.

8.4 FONTES DE MATERIAL

8.4.1 Fração orgânica

No levantamento realizado, notou-se que grande parte das diatomáceas encontradas é marinha, seguidas pelas de água doce e algumas de águas salobras. Tal fato deve-se pela penetração de águas salinas no estuário em estudo e já foi verificado em estudos anteriores como o de Paiva (1991).

8.4.2 Fração inorgânica

Os argilo-minerais são produtos do intemperismo de feldspatos e outros minerais presentes nas rochas e solo (HARTMANN; CALLIARI, 1995). A presença de esmectita nos sedimentos em suspensão da baía do Guajará sugere como áreas fontes rochas ou sedimentos situados em clima semi-árido. Gibbs (1973) refere-se à esmectita presente na desembocadura do rio Amazonas como proveniente da cordilheira andina.

É possível também que parte da esmectita encontrada no estuário seja proveniente da plataforma continental trazida pelas fortes correntes de enchente que adentram no estuário com as marés (PINHEIRO, 1987).

⁵ LEMES, M.J.L., FIGUEIREDO FILHO, P.M., PIRES, M.A.F. Influência da mineralogia dos sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo na composição química das águas de abastecimento público. *Química Nova*, v.26 n.1, p. 13-20. 2003.

Pinheiro op. cit. considerou que a caulinita e a illita do estuário de solos e sedimentos que bordejam os canais e os principais rios que drenam a área como o Guamá e Acará.

A clorita tem como principal área fonte os sedimentos recentes do rio Tocantins, pois é comum a ocorrência deste argilo-mineral no material terrígeno desse rio (BEMERGUY, 1981).

Esses minerais são, em sua grande maioria (>80%), provenientes dos Andes (GIBBS, 1967). Essa associação mineralógica aparentemente sofre variações mínimas, quer no período chuvoso ou menos chuvoso, quer durante as oscilações das marés, aumentando ou diminuindo exclusivamente sua concentração nas águas durante estes ciclos (PINHEIRO, 1987).

9 CONCLUSÕES

A conclusão das análises do material em suspensão revelou grande ocorrência de sílica, evidenciada pela presença de aluminossilicatos, quartzo, argilominerais e sílica biogênica, constituinte de organismos que fazem parte do fitoplâncton, como as diatomáceas, destacando-se a espécie *Polymyxus coronalis*, característica do estuário guajarino. Esse material sofreu pouca variação sazonal e espacial.

Os resultados refletem os aspectos da dinâmica estuarina, que sofre influência tanto de águas marinhas quanto fluviais, podendo assim apresentar minerais que têm sua gênese associada a processos diferentes. Entretanto estes resultados representam apenas uma pequena etapa neste tipo de investigação, para estudos futuros, sugere-se uma abordagem nas diferentes condições de maré, pois no presente trabalho foi abordada apenas a pluviosidade como condição oceanográfica/ambiental.

REFERÊNCIAS

AB' SABER, A. N. Geomorfologia da região. In: ALMEIDA, JR. *Carajás, desafio político, ecologia e desenvolvimento*. São Paulo, 1986. Ed. Brasiliense-CNPq. P. 88-124.

ACKERMANN, F. L. *Esboço para a geologia entre a cidade de Belém – Rio Gurupi e Atlântico – Rio Guamá*. Belém, Imprensa Universitária do Pará. 1969. 90p.

ALBERS, A. P. F. et al. Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios – x. *Cerâmica* v.48, n. 305, Jan./Feb./Mar. 2002

ALMEIDA, D.C. *Diagnóstico da distribuição de sedimentos e processos físicos associados na Baía de Tijuca – SC*. 2008. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade do Vale do Itajaí; Centro de Ciências Tecnológicas, da Terra e do Mar; Itajaí, 2008.

BEMERGUY, R. L. *Estudo sedimentológico dos paleocanais da região do rio Paracauari, Ilha do Marajó – Estado do Pará*. 1981. 95f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1981.

BIGGS, R.B. Sources and distribution of suspended sediment in northern Chesapeake Bay. *Marine Geology*, 9: 187-324. 1970.

CORDEIRO, C. A. *Estudo da salinização no estuário do rio Pará no trecho Belém – Mosqueiro*. 1897. 109f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém, 1987.

COSANPA. Plano Diretor de Sistema de Esgoto Sanitário da Região Metropolitana de Belém. *Manual descritivo*. 1987. v.1.

Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). *Tábuas de maré para o porto de Belém (Estado do Pará)*. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html>>, acessado em março de 2009.

DUARTE, L.C. et al. *Aplicações de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e sistema de energia dispersiva (EDS) no estudo de gemas: exemplos brasileiros*. Pesquisas em Geociências, 30(2): 3-15, Instituto de Geociências UFRGS, Porto Alegre. 2003.

GIBBS, R. J. The bottom sediments on the Amazon Shelf and Tropical Atlantic Ocean. *Marine Geology*, v.14, p.39 – 45. 1973.

GOMES, C.F. *Argilas. O que são e para que servem*. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1988. 205f.

HARTMANN, C.; CALLIARI, L. *Composição e qualidade do material em suspensão durante alta turbidez na extremidade Sul da Laguna dos Patos*. Pesquisas, 22 (1-2): 74-83. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências. Porto – Alegre, 1995.

HARTMANN, C.; CALLIARI, L. ; MOLLER Jr., O.O. *Material em suspensão na Laguna dos Patos, RS – Fase I, observações preliminares, abril 1979 à março de 1980*. Relatório, Rio Grande. Departamento de Geociências – FURG, 1985

HIDROWEB – *Sistema de informações hidrológicas* – Agência Nacional de Águas. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br/>> acessado em Outubro de 2008.

MONTEIRO, S.M.; *Avaliação da água superficial da Baía do Guajará (Belém-Pa) Utilizando Indicadores Abióticos*. 2006. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2006.

MOURA. E.L.; *Mapeamento do halo de dispersão formado por efluentes industriais lançados na Baía do Guajará no trecho compreendido entre o Bairro de Val-de-Cães e o Distrito de Icoarací*. 2007. 83f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Belém, 2007.

PAIVA, R. S. *Composição e biomassa do fitoplâncton da baía do Guajará (Pará – Brasil)*. 1997. 55f. Dissertação (Mestrado em Criptógamos) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1997.

PEREIRA, K. R. *Caracterização geoquímica de sedimentos e águas superficiais da orla de Belém entre o canal do Una e o de Val de Cães (PA)*. 2001. 81f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2001.

PINHEIRO, R. V. L. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará-Belém (PA)*. 1987. 164f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica). Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1987.

PINHEIRO, R. V. L.; FARIA JUNIOR. Comportamento dos parâmetros físicos e químicos das águas do estuário Guajará, Belém (PA). In: CONG. ABEQUA, 11., 1989, *Anais...* Rio de Janeiro: ABEQUA, 1989. p. 78-84.

PRESS, F.; et al. *Para entender a terra*; Tradução de MENEGAT, R. (Coord.). 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656p.

PRITCHARD, D. W. *What is an estuary: physical point of view*. In: LAUFF, G. H. Ed. *Am. Ass. Advnt. Sci.*, n.83, p.3-5. 1967.

SANTANA, D. S. *Abundância relativa e Freqüência de Ocorrência das Diatomáceas Cêntricas (Bacillariophyceae-Centriceae) da Região entre Marés da Praia de Ajuruteua (Bragança-Pa)*. 1999. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso.. Universidade Federal do Pará, Belém .1999.

SARAIVA, A. L. L. *Estudo sedimentológico e geoquímico em sedimentos de fundo na baía do Guajará – Belém (PA)*. 2007. 122f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica). Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2007.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. *A practical handbook of seawater analysis*. 2nd ed. Queen's Printer, Ottawa: Canadá. 1972. 310p.

THE ROCK-COLOR CHART COMMITTEE. *Rock – color chart*. The Geological Society of America, Boulder, Colorado. 1979. 11p.

SUGUIO, K. *Rochas sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica*. São Paulo: Edgard Blücher. 1980. 500p.

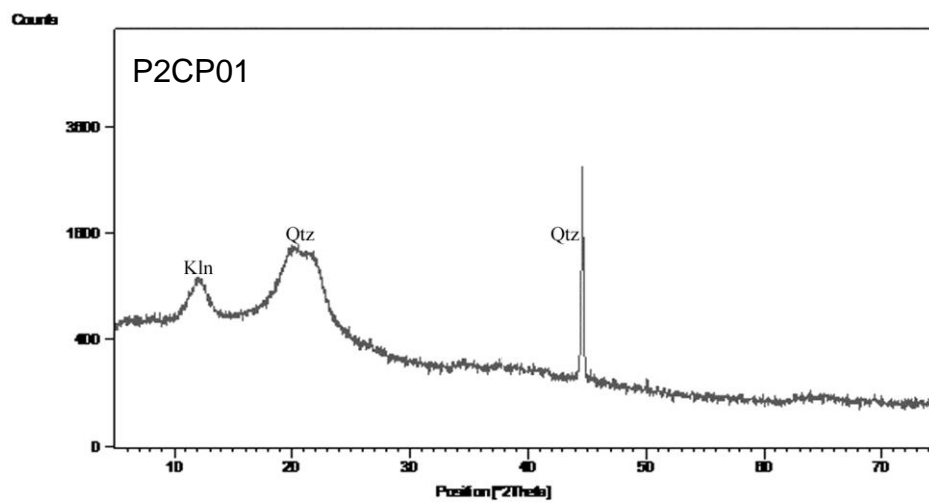
ANEXOS

ANEXO A - TÁBUA DE MARÉS REFERENTE AOS DIAS DE AMOSTRAGEM.

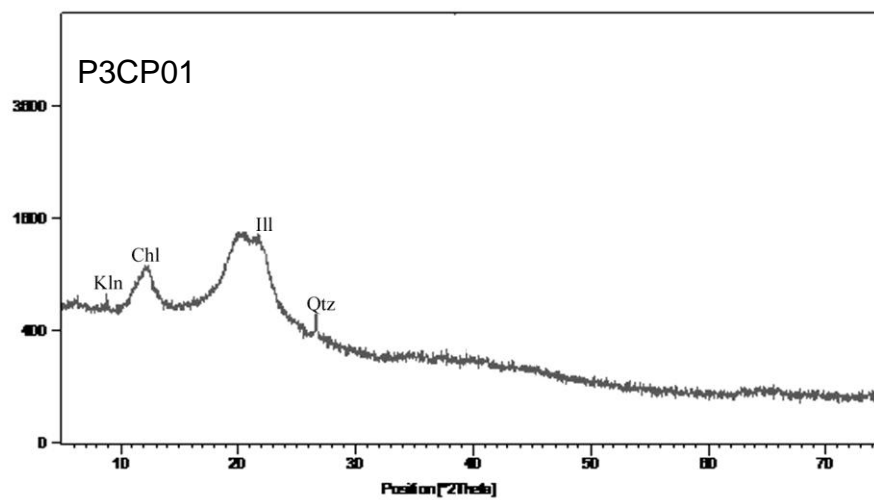
Dia	Hora	Altura (m)
6/12/2004	05:54	2.6
	12:36	0.9
	18:38	2.6
8/3/2005	04:58	0.5
	10:08	3.2
	17:04	0.6
	22:15	3.4
20/6/2005	04:13	0.7
	09:08	3.2
	17:11	0,7
	22:09	2.9
12/9/2005	04:24	3.0
	12:15	1.2
	17:58	2.6
	23:49	1.2

Fonte: DHN, 2004-2005.

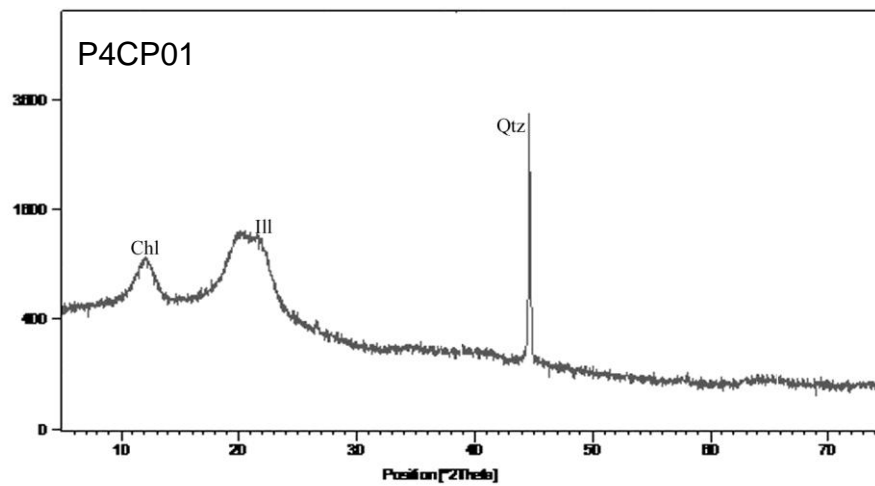
ANEXO B- DIFRATOGRAMA DE RAIÓ – X DAS DEMAIS AMOSTRAS.



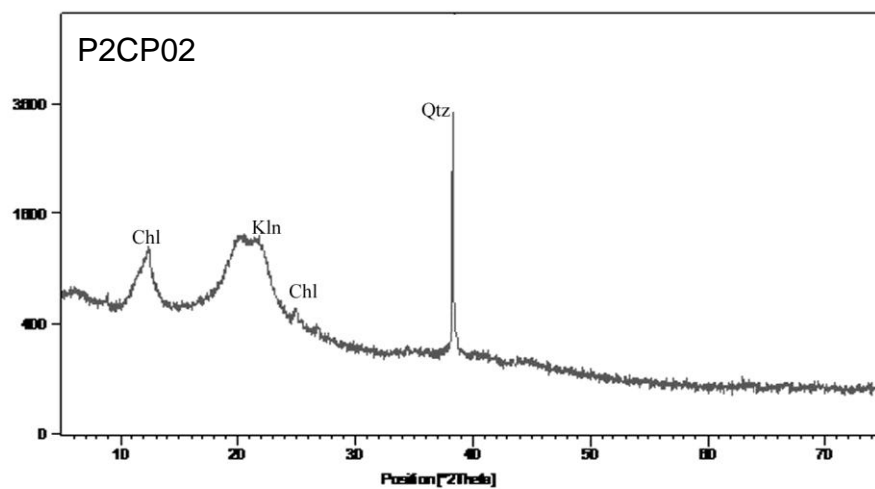
Kln: Caulinita Qtz: Quartzo



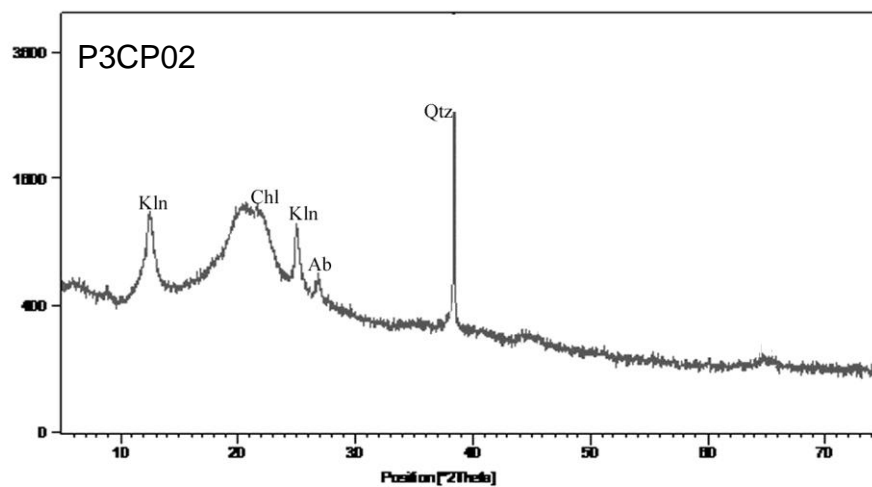
Chl: Clorita Ill: Ilita Qtz: Quartzo



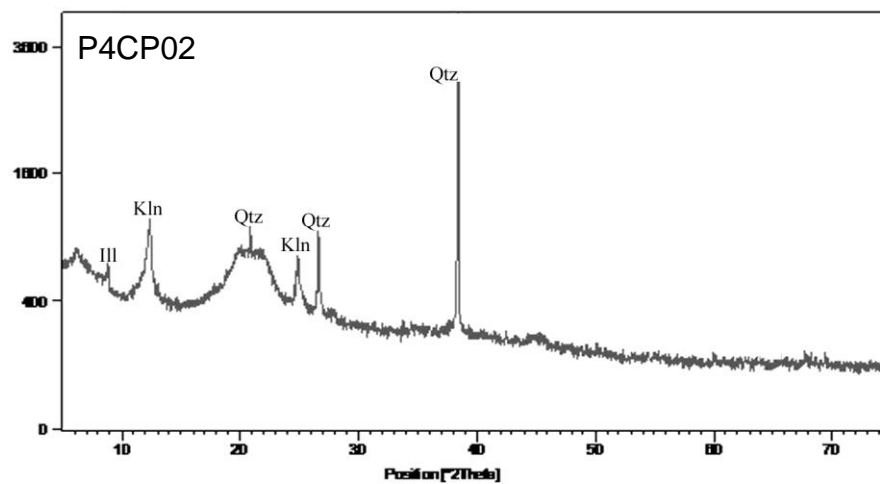
Chl: Chlorita Ill: Illite Qtz: Quartzo



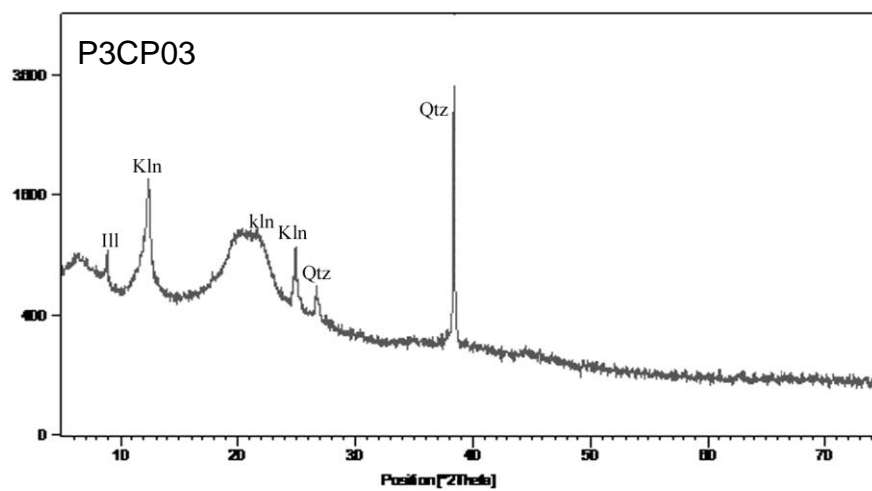
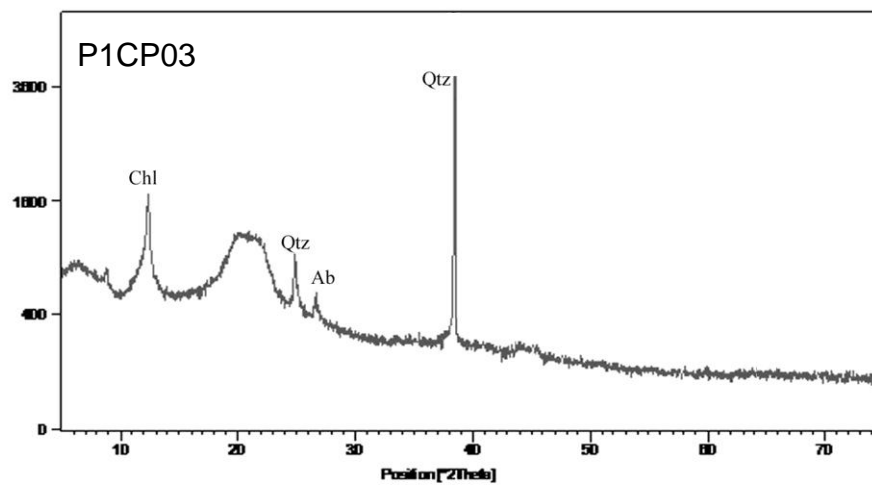
Chl: Chlorita Kln: Kaolinite Qtz: Quartzo

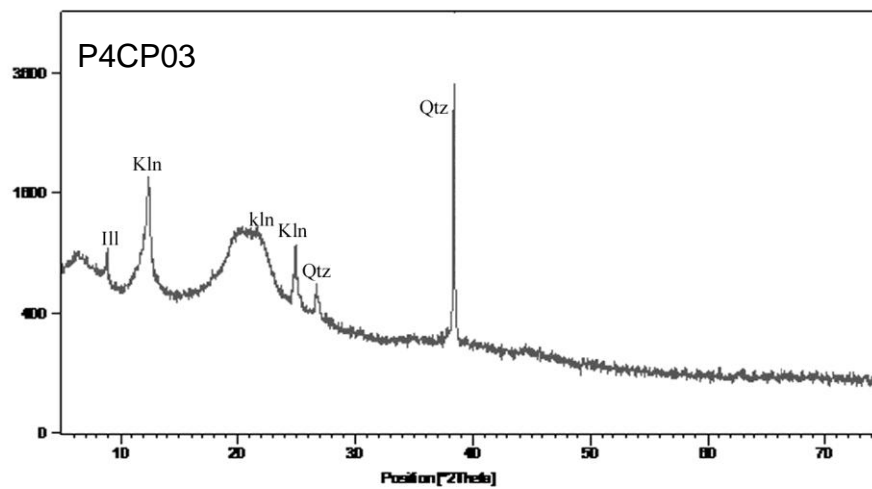


Ab: Albite Chl: Clorita Kln: Caulinita Qtz: Quartzo

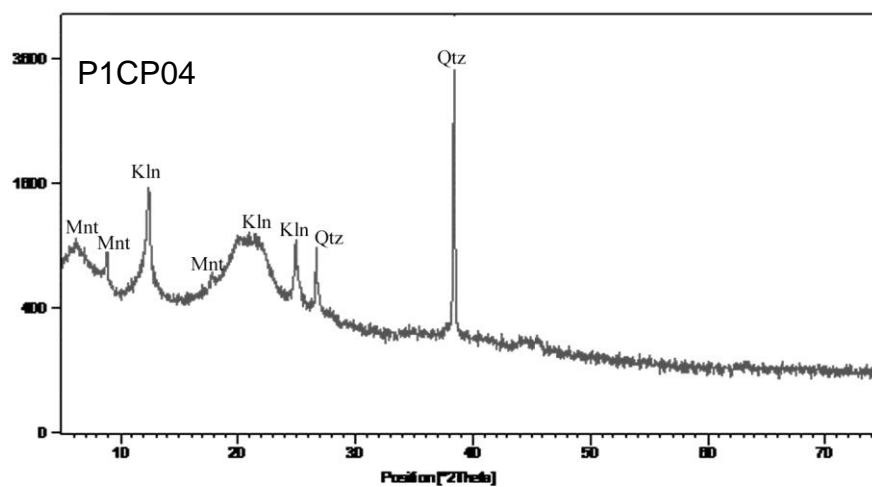


Ill: Illita Kln: Caulinita Qtz: Quartzo

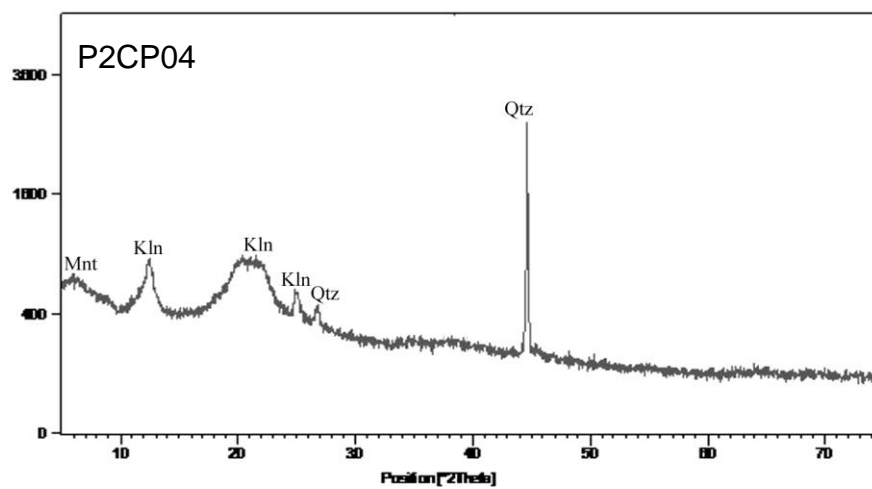




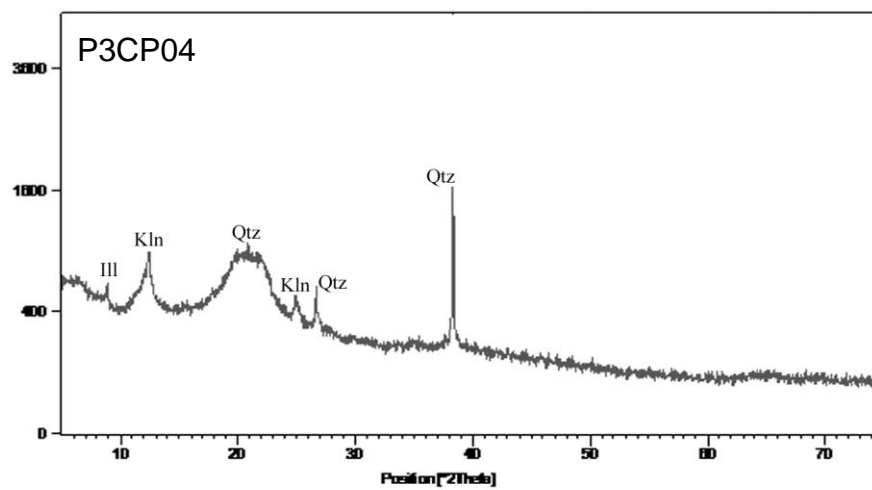
Ill: Illita **Kln:** Caulinita **Qtz:** Quartzo



Kln: Caulinita **Mnt:** Montmorilonita **Qtz:** Quartzo

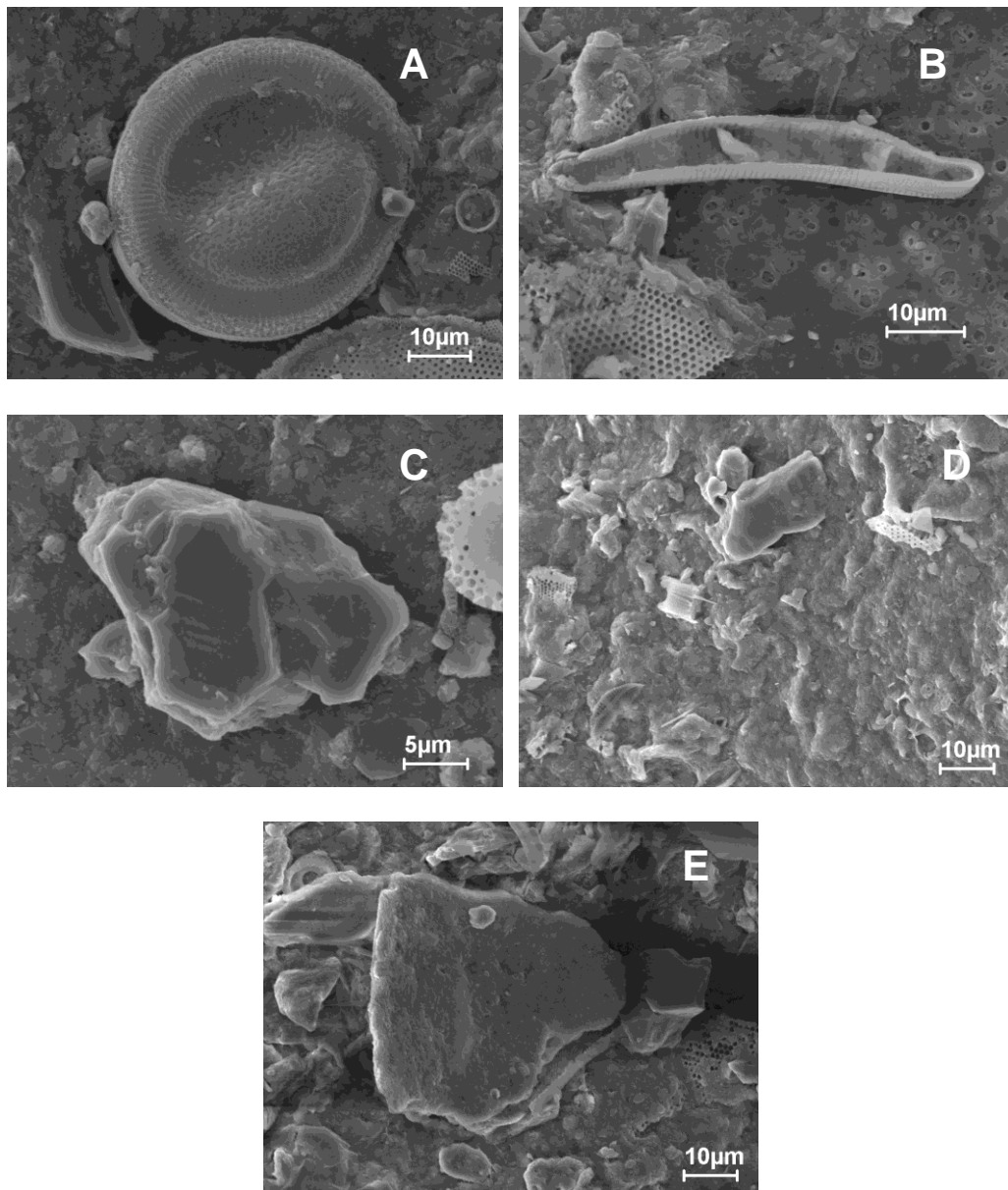


Kln: Caulinita Mnt: Montmotilonita Qtz: Quartzo



Ill: Illita Kln: Caulinita Qtz: Quartzo

ANEXO C - MAIS IMAGENS OBTIDAS NO MEV.



A – diatomácea cêntrica (*Melosira* sp.) B – diatomácea penada (*Eunotia*)
C – aluminossilicato D – bioclastos silicosos com agregados minerais
E – mineral pesado estauroлита (Si, Al, Fe, Mg)