



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

**QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE
MATÉRIA ORGÂNICA EM SEDIMENTOS DE
MANGUE, VISANDO ESTUDO GEOQUÍMICO (BAÍA
DE INAJÁ, SÃO JOÃO DE PIRABAS NE DO PARÁ)**

Autora: Bianca Delamare Passinho Alcântara
Orientador: Waterloo Napoleão de Lima

Belém – Pará
2002

À minha mãe **LINDOMAR** e ao meu pai **ALCÂNTARA** pela vida
e pelos ensinamentos de como me tornar um ser humano
de bom caráter

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado a oportunidade de estar neste mundo e contribuir para o conhecimento de todos.

A Universidade Federal do Pará – UFPA, pela oportunidade concedida para execução deste trabalho.

Ao Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, pelo apoio para a realização do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Prof. Dr. Waterloo Napoleão de Lima, pela inestimável orientação e principalmente pelo estímulo e paciência durante a realização deste trabalho.

Aos funcionários do Centro de Geociências, especialmente, Natalino pela grande colaboração na realização das análises químicas.

As amigas do curso de mestrado Zilma Lima, Elma e Kátia Pereira pelo companheirismo e amizade.

Ao meu irmão Alan e aos colegas Fábio Henrique e Francisco, pela indispensável ajuda nos trabalhos de informática.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	páginas
DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	v
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1 – INTRODUÇÃO	5
2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA FISIAGRÁFICA	7
2.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO	7
2.2 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	9
2.2.1 – Clima	9
2.2.2 – Vegetação	9
2.2.3 – Hidrografia	11
2.2.4 – Solos	12
2.2.4.1 – Latossolo amarelo	12
2.2.4.2 – Podzolissolos (Podzóico amarelo)	13
2.2.4.3 – Neossolos (Areias quartzosas)	13
2.2.4.4 – Gleissolos (Glei húmico, Glei pouco húmico e Hidromórfico acizentado)	14
2.2.5 – Geomorfologia	16
2.2.5.1 – Formação Pirabas	17
2.2.5.2 – Grupo Barreiras	19
2.2.5.3 – Sedimentos Pós-Barreiras	20
2.3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.3.1 – Matéria orgânica em sedimentos de manguezais	20
2.3.2 – Características geoquímicas de rios da bacia amazônica	23
2.3.3 – Características geoquímicas da matéria orgânica das águas da microrregião do Salgado (NE do Pará)	27
2.3.4 – Características dos sedimentos de manguezais da microrregião do Salgado	29

3 – METODOLOGIA APLICADA	33
3.1 – TRABALHOS PRELIMINARES	33
3.2 – TRABALHOS DE CAMPO	33
3.2.1 – Amostras de sedimentos	33
3.2.2 – Amostras de água	35
3.3 – TRABALHOS DE LABORATÓRIO	42
3.3.1 – Análises em sedimentos	42
3.3.1.1 - Análises químicas e físico-químicas em sedimentos	42
3.3.1.2 – Análise mineralógica em sedimentos	44
3.3.2 – Análises em águas	44
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1 – RESULTADOS ANALÍTICOS DAS ÁGUAS ESTUARINAS DA ÁREA DE ESTUDO	46
4.2 – RESULTADOS ANALÍTICOS DOS SEDIMENTOS DE MANGUEZAL E DE MATERIAL GEOLÓGICO ASSOCIADO OCORRENTES NA ILHA DE ITARANA	48
4.2.1 – Composição química e mineralógica	48
4.2.1.1 – Análises químicas	48
4.2.1.2 – Análises difratométricas de raios-X	51
4.2.1.3 – Tentativas de quantificação dos minerais através de cálculo estequiométrico	58
4.2.2 – Identificação de material húmico bruto nos sedimentos selecionados	60
4.2.2.1 – Espectros de absorção na região do infravermelho	60
4.2.2.2 – Análises de carbono orgânico, nitrogênio orgânico, fósforo orgânico e quantificação da matéria orgânica	64
4.2.3 – Capacidade de troca catiônica	68
4.3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
5 – CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

	páginas
Figura 1 – Mapa de localização da região estudada	8
Figura 2 – Mapa de vegetação e pontos de amostragem	10
Figura 3 – Perfil teórico de um solo mineral	15
Figura 4 – Coluna estratigráfica	18
Figura 5 – Esquema de classificação para a matéria orgânica no solo	21
Figura 6 – Ciclo do carbono orgânico nas águas	26
Figura 7 – Esquema geral de fontes de material em suspensão no estuário e principais processos que afetam o material particulado em suspensão	28
Figura 8 – Processo de decomposição da matéria orgânica e suas reações	32
Figura 9 – Vista dos depósitos arenosos (arenito Pilões) dispostos na forma de terraços acima do nível da maré alta, onde ocorre erosão na forma de pequenas cavernas	36
Figura 10 – Vista parcial do material arenoso de coloração marrom-escura, rico em matéria orgânica com estrutura bioturbada nas porções mais baixas dos terraços. Localizado no “furo” Grande, onde ocorre a fácies Areia de Cordões Praiais. Local de coleta de duas amostras (FG1 e FG2)	37
Figura 11 – Vista parcial de afloramento de calcário da Formação Pirabas, próximo à vegetação de mangue a SE da ilha de Itarana, onde ocorre a fácies Areno-Argilosa. Local de coleta de uma amostra (PR1)	38
Figura 12 – Vista parcial de um afloramento de calcário da Formação Pirabas, visto somente com a maré baixa, localizado na baía de Inajá, onde ocorre a fácies Sedimentos Carbonáticos. Local de coleta de duas amostras (PR2 e PR3)	39
Figura 13 – Vista parcial de uma falésia esculpida nos sedimentos do Grupo Barreiras, localizada a SE da ilha de Itarana, onde ocorre a fácies Areno-Argilosa. Local de coleta de uma amostra (BR1)	40

Figura 14 – Vista de um pequeno depósito de água acumulada no período chuvoso e lixiviada, localizada em Pilões. Local de coleta do extrato aquoso (EA1 e EA2)	41
Figura 15 – Difratoograma da análise por difração de raios-X da amostra MA1	53
Figura 16 – Difratoograma da análise por difração de raios-X da amostra BR1	54
Figura 17 – Difratoograma da análise por difração de raios-X da amostra PR1	55
Figura 18 – Difratoograma da análise por difração de raios-X da amostra PR2	56
Figura 19 – Difratoograma da análise por difração de raios-X da amostra PR3	57
Figura 20 – Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras MA1 e EA2	62
Figura 21 – Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras AP3, FG2 e FG1	63

TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros químicos e físico-químicos dos rios da bacia amazônica	24
Tabela 2 – Descrição sumária das amostras de sedimentos	34
Tabela 3 – Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos de águas estuarinas (baía de Inajá, São João de Pirabas NE do Pará)	46
Tabela 4 – Composição química centesimal da matriz inorgânica de dez amostras de sedimento	50
Tabela 5 – Composição mineralógica das amostras	59
Tabela 6 – Principais regiões de bandas de absorção dos espectros de infravermelho de substâncias húmicas e suas atribuições	61
Tabela 7 - Resultados analíticos de componentes orgânicos nos sedimentos	65
Tabela 8 – Resultados dos elementos trocáveis, CTC. pH e condutividade elétrica	70

RESUMO

O bom funcionamento do ecossistema de manguezal depende de alguns fatores de importância vital, entre os quais se inclui a estabilidade do solo, a salinidade e um suprimento adequado de água doce e de nutrientes.

A área fisiográfica selecionada é a baía de Inajá, situada no município de São João de Pirabas, na mesorregião Nordeste do Pará. A coleta de sedimentos de mangue foi realizada na ilha de Itarana, que se localiza nessa baía, e recebe influência direta de águas do oceano Atlântico.

Resultados analíticos mostraram que a sazonalidade exerce notável influência no transporte de material fixado nos manguezais ou exportado para as águas costeiras. Enquanto o pH se manifesta às proximidades de 7 no período chuvoso, seus valores podem ser superiores a 8 (máximo de 8,55) na estiagem; também a condutância específica (máxima em $33,9 \text{ ms.cm}^{-1}$ no período chuvoso) pode chegar a 50 ms.cm^{-1} na estiagem, revelando um conteúdo eletrolítico elevado por força da influência de águas oceânicas. O material particulado em suspensão exhibe concentrações algo mais elevadas no período chuvoso (máximo de 178 mg.L^{-1}), em concordância com a turbidez (máximo de 150 UNT) e com o índice de cor (máximo em 60 UC). Por sua vez, a matéria orgânica, embora algo apreciável no período de estiagem (teor máximo observado em 2,06 mg de C/ litro), mostrou-se ainda mais elevada no período chuvoso (máximo em 3,4 mg de C/ litro), sugerindo maior contribuição do material transportado pelos rios. Enquanto os teores de silicato transportado são maiores no período chuvoso (máximo em 1,63 mg de SiO_2 / litro), o fosfato total (orgânico, inorgânico) atingiu um máximo de 1,46 mg de PO_4^{3-} / litro) no período de estiagem, revelando prováveis influências oceânicas no meio da baía de Inajá, aliás, local de pesca e capturas de mariscos.

As razões C/N, C/P e N/P (máximo em 126,7, 1039 e 83,2; mínimos em 1,75, 101 e 17,2, respectivamente) sugerem deficiência de N e P e enriquecimento de material de decomposição de celulose, de origem vegetal. Aliás, o material carbonoso de “furo” Grande exhibe uma relação C/N de 126,7 que indica período longo de maturação.

A interpretação dos espectros de absorção na região do infravermelho leva à identificação de grupos hidrofílicos (OH alcoólica e fenólica); de grupos funcionais metil ($-CH_3$) e metileno ($-CH_2-$) de cadeias alifáticas; de carboxila e/ou carbonila e seus derivados (carboxilatos e complexos, mais provavelmente com Fe e Al) ; e confirmam a presença de geopolímero através da identificação de bandas devidas a silicato. Essas considerações levam à conclusão sobre ocorrência de material húmico seja nas águas (talvez mais recentes) ou nos sedimentos. Tratando-se de material mais refratário, essas substâncias húmicas podem agregar-se aos sedimentos geológicos e promover a sedimentação necessária à formação de fácies, principalmente no material carbonoso coletado no “furo” Grande (15,29 % de matéria orgânica) e no material coletado no arenito Pilões (9,62% de matéria orgânica) .

Na avaliação da capacidade de troca catiônica (CTC), observou-se maior influência da matéria orgânica, pois as amostras mais ricas em matéria orgânica (15,29% e 9,62%) apresentaram índices máximos de CTC da ordem de 30,12 meq/100g e 35,66 meq/100g, respectivamente.

A elevada quantidade de matéria orgânica no ambiente em estudo parece estar muito mais associada com o ciclo das marés, com a drenagem insuficiente no sedimento (seja no manguezal ou no arenito) , elevada bioturbação (restos de vegetais, ação de organismos marinhos) e percolação de águas subterrâneas, que originam substâncias húmicas em solos podzólicos, ou seja, a matéria orgânica apresenta duas origens: uma, alóctone – material transportado pelos rios; e outra, autóctone – resultante da incorporação de raízes, microorganismos invertebrados e talvez principalmente da própria liteira resultante do metabolismo no manguezal.

ABSTRACT

The good functioning of the ecosystem depends on important vital factors, among which, one includes the soil stability, the salinity and an adequate supply in fresh- water and nutrients.

The selected physiographic area is the Inajá Bay, situated in the municipal district of São João de Pirabas, in Northeast of Pará. Mangrove sediments sampling was accomplished at Itarana's island, located in this bay, and receiving direct influence of the Atlantic Ocean waters.

Analytical results showed seasonal variation in the transportation of the fixed material in mangroves or exported to coastal waters. While pH are close to 7 in the rainy period, it can reach values higher to 8 (maximum of 8,55) in the dry period; also specific conductivity (maximum in 33,9 ms.cm⁻¹ in the rainy period) can reach 50 ms.cm⁻¹ in the dry period, revealing an elevated electrolytic content due to the influence of oceanic waters. The suspended particulate material exhibits higher concentrations in the rainy period (maximum of 178 mg.L⁻¹), in concordance with turbidity (maximum of 150 UNT) and with the index of colour (maximum in 60 UC). Organic matter, however was lower in the dry period (maximum content observed in 2,06 mg C/ L), it was higher in the rainy period (maximum in 3,4 mg C/L) , suggesting larger material contribution transposed by the rivers. While silicate contents are higher in the rainy period (maximum in 1,63 mg SiO₂ / L) , the total organic and inorganic phosphate reached a maximum (1,46 mg PO₄³⁻ /L) in the dry period, revealing probable oceanic influences in the middle of Inajá Bay, where, fishing captures take place.

The ratios C / N, C / P and N / P (maximum at 126,7, 1039 and 83,2; minimum at 1,75, 101 and 17,2, respectively) suggest deficiency of N and P and enrichment in cellulose decomposition material, of vegetation origin. Else, the carbonous material of "furo" Grande exhibits a C/N ratio of 126,7 that indicates long period of maturation.

The interpretation of the absorption spectra in the infrared region can identify the hydrophilic groups (OH alcoholic and phenolic); of functional groups methyl (-CH₃) and methylene (-CH₂ -) of aliphatic chains; of carboxylic and/or carbonyl groups; and their derivatives (carboxylate and complexes, more probably with Fe and Al) ; and they confirm geopolymer presence through the identification bands owed to silicate. These considerations to come suggest to the occurrence of humic material whether in the water (perhaps more recent) or in the sediments. Being of more refractory material, these humic substances can be aggregated to the geological sediments and promote the necessary sedimentation to facies formation, mostly in the carbonic material

collected in the “furo” Grande (15,29 % of organic matter) and in the material collected in the Pilões sandstone (9, 62% of organic matter).

Samples with higher organic matter content (15,29% and 9,62%) showed higher CEC (30,12 meq/100g and 35,66 meq/100g) respectively.

The large quantity of organic matter in the environment of this study seems to be much more associated with the tidal cycle, with the poor drainage in the sediment (whether in mangrove or in the sandstone), elevated bioturbation (plant detrius, marine organisms action) and drainage of ground water, that originate humics substances in podzol soils, that is to say, the organic matter is from two origins: one, alloctonous – material transported by the rivers; and other, authoctonous – resultant of the incorporation of roots, spineless microorganisms and perhaps mostly of the litter resultant of mangrove metabolism.

1. INTRODUÇÃO

O ecossistema de manguezal constitui um tipo específico de floresta úmida, situado nas áreas costeiras e estuarinas tropicais e subtropicais. Os manguezais são importantes como fonte de alimento para populações humanas, sustento econômico, abrigo e manutenção de fauna. Contribuem também para fixação de contingentes humanos próximos à orla marítima. A fauna associada é rica e diversificada, constituída principalmente de peixes, moluscos e crustáceos (Schaffer-Novelli, 1987).

Os corpos de água, como baías, lagunas e estuários, quando margeados por bosques de mangue, recebem importante contribuição dos compostos húmicos com destacada função no condicionamento biológico, favorecendo sobremaneira sua alta produção (Schaffer-Novelli, 1989). A queda das folhas das árvores e sua mistura com o lodo, além de pelotas fecais e organismos em decomposição, formam restos orgânicos importantes, que são utilizados por bactérias e fungos, ou seja, é grande a quantidade de matéria orgânica produzida pela cadeia detritica, que forma o elo básico das cadeias alimentares marinhas economicamente importantes (Mello *et al.*, 1995).

O uso de recursos dos manguezais paraenses não é uniforme ao longo da costa. Não obstante haver locais com visíveis sinais de esgotamento e perturbação, a maioria das áreas ainda apresenta condições aceitáveis de conservação (Almeida, 1995).

Na região nordeste do estado do Pará (ilha de Itarana) por exemplo os mangues se destacam como unidade ambiental dominante e são constituídos por sedimentos lamosos ricos em matéria orgânica com intensa bioturbação, que estão sob influência das marés, e se desenvolvem ao longo das baías estuarinas, sendo recortados por canais e córregos de marés.

Nessa mesma região desenvolvem-se sedimentos relacionados com o Grupo Barreiras, constituído basicamente de siltes, argilas e areia; com a Formação Pirabas, onde predomina calcários e margas, ambos pertencentes ao Terciário; e com o Quaternário que diz respeito ao material holocênico que são argilas associadas a pântanos e mangues, e areias vinculadas a campos de dunas, extensas praias e dunas

costeiras e ao material pleistocênico que são sedimentos arenosos de cor cinza a amarela, por vezes marrom, bem selecionados.

A área escolhida para estudo é a ilha de Itarana considerada a priori como não-contaminada, onde a população local é atraída pela pesca e coleta de caranguejo, siri, camarão, etc. que servem de subsistência para suas famílias e também para comercialização no mercado local e periférico, contribuindo para economia da região e do Estado. Nessa área se faz necessário estudo para se conhecer a estrutura e a qualidade desse ambiente, a qual apresenta papel fundamental para estudo geoquímico, a fim de trazer subsídios concretos para uma política de uso sustentável dos recursos naturais, paisagísticos e ecológicos.

Este trabalho tem como objetivo geral o estudo químico e mineralógico de sedimentos recentes e antigos coletados em manguezal, visando uma apreciação geoquímica. Os objetivos específicos são apresentados nos seguintes itens: a) avaliação de variação sazonal de parâmetros ambientais físicos, físico-químicos e químicos de águas naturais; b) determinação de componentes inorgânicos (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 , H_2O^+ , H_2O^-) em sedimentos; c) caracterização e quantificação de matéria orgânica sedimentar, através da determinação dos parâmetros $C_{\text{orgânico}}$, $N_{\text{orgânico}}$ e $P_{\text{orgânico}}$; d) avaliação do pH, da condutividade elétrica (em suspensão aquosa) e da capacidade de troca catiônica de amostras selecionadas; e) fazer uma correlação das análises químicas com a mineralogia; f) tentativas de determinação da composição centesimal de minerais e demais componentes, mediante cálculo estequiométrico; g) identificar a natureza química da matéria orgânica através de espectros no infravermelho. Visando compreensão sobre o material transportado pelas águas estuarinas procedeu-se, ainda, a quantificação de parâmetros ambientais físicos, físico-químicos e químicos selecionadas nessas águas.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA FISIAGRÁFICA

2.1- LOCALIZAÇÃO DE ACESSO

A área estudada localiza-se na porção noroeste do município de São João de Pirabas e faz parte da mesorregião do NE do Pará e microrregião do Salgado, abrangendo uma área com cerca de 91km² (Figura 1). O acesso a área é feito pela rodovia federal BR-316 até o trevo do município de Santa Maria do Pará, seguindo pela rodovia estadual PA-324 até o cruzamento com a PA-124; daí percorre-se até o km 6, e se utiliza um ramal até a localidade de Cuiarana fazendo a travessia de barco pela baía de Inajá para a ilha de Itarana.

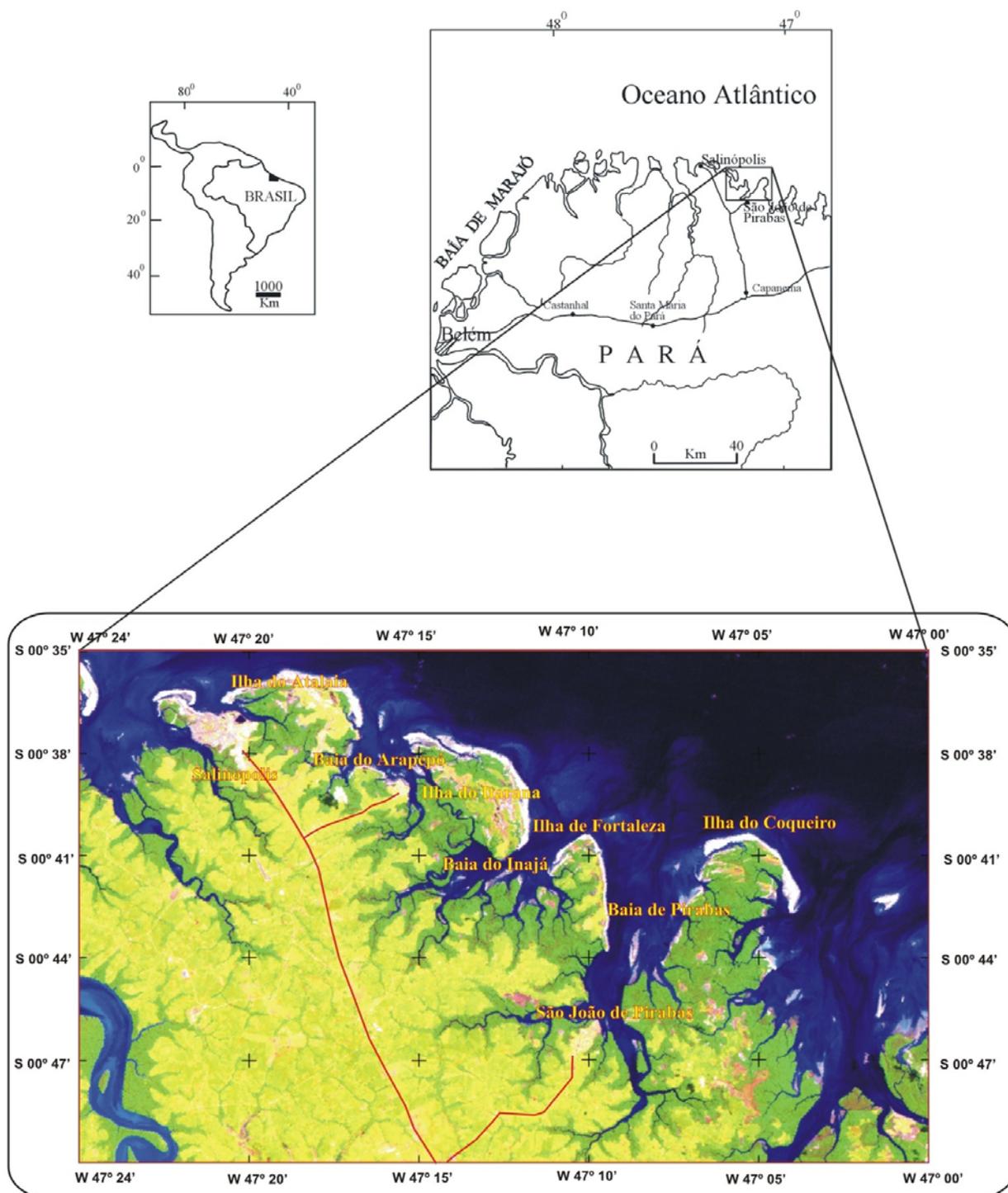


FIGURA 1: Mapa de localização da região estudada, adaptada de Silva Júnior (1998).

2.2- ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

2.2.1- Clima

A descrição climática para a região estudada, na classificação de Köppen, é caracterizada por clima tropical quente e úmido do tipo Am com moderada estação seca e ocorrência de precipitação média mensal inferior a 60 mm. Nesse tipo climático é possível distinguir duas estações; uma mais chuvosa, ocorrendo de dezembro a maio, e outra mais seca, de junho a novembro. Considerado um clima intermediário entre os tipos Af e Aw, caracteriza-se pelo subtipo Am₂, com precipitação pluviométrica média anual variando de 2500 a 3000 mm e deficiência hídrica em torno de 200 a 300 mm (Martorano *et al.*, 1993).

A variação média anual de temperatura oscila em torno de 27,7°C. Os meses mais quentes são os de setembro e outubro, onde a temperatura atinge 32,1°C. Um fator importante é a umidade relativa do ar que oscila entre 80 e 90% anualmente (Costa *et al.*, 1977).

2.2.2- Vegetação

A vegetação da região é caracterizada por Florestas Secundárias de extensas capoeiras sobre o Planalto e por Formações Pioneiras, como mangues, campos arbustivos, herbáceas e arbóreas que ocorrem sobre as dunas, cheniers, interdunas e paleodunas da Planície Costeira (Figura 2) (Góes Filho *et al.*, 1973).

A formação dominante é a vegetação de mangue, ocorrendo em área de influência marinha, onde os terrenos são lamosos e cobertos por vegetação litorânea, com árvores pneumatóforas, e com raízes aéreas, que vivem normalmente em ambiente salino ou salobro. As principais espécies são: a *Rhizophora mangle* (mangue verdadeiro ou vermelho), *Avicennia germinans* (mangue preto ou siriúba) e *Lagunculária racemosa* (mangue branco ou tinteiro), com *Spartina sp.* associada (Ribeiro & Sena, 1995).

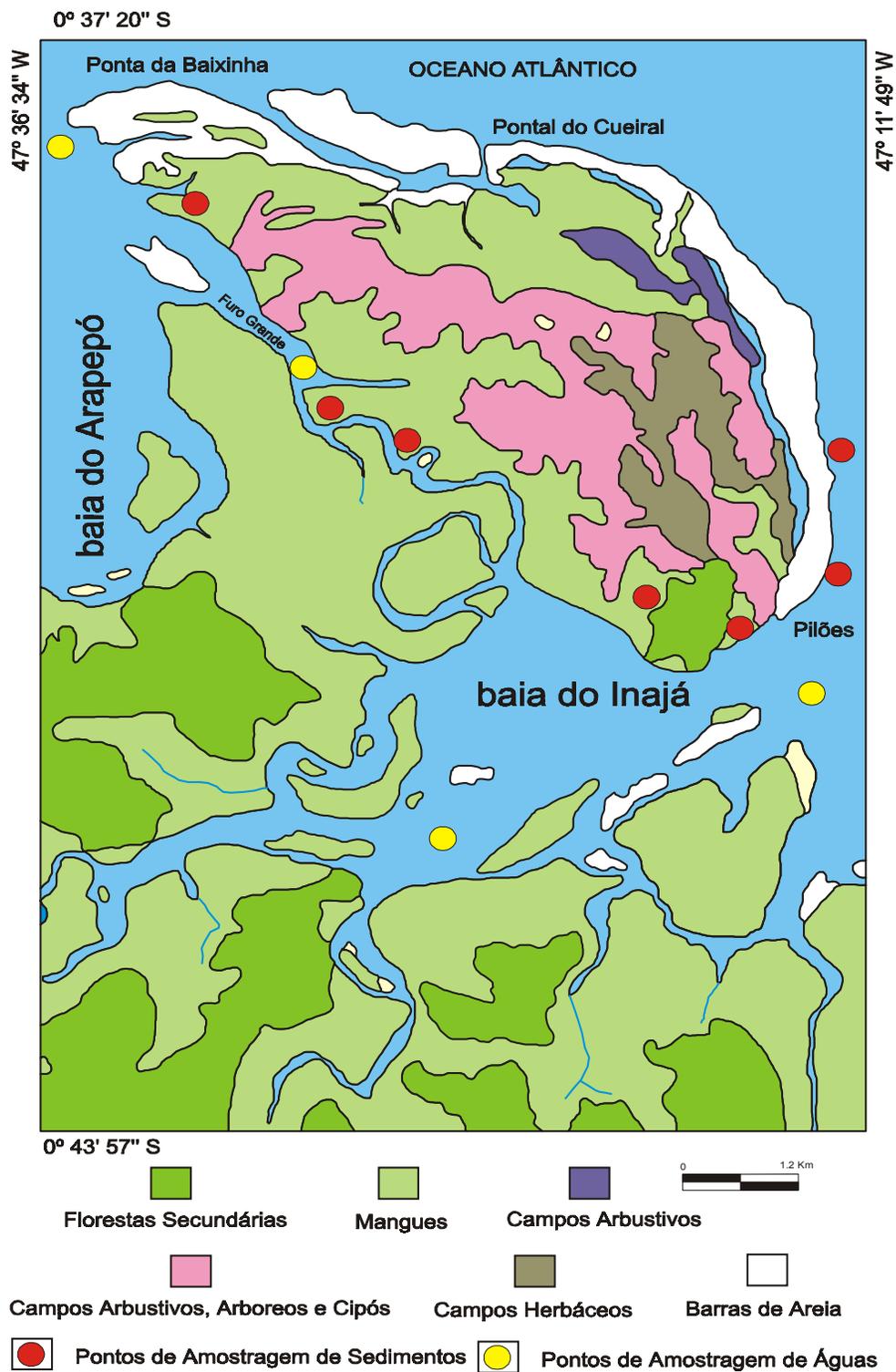


FIGURA 2: Mapa de vegetação e pontos de amostragem, adaptada por Silva Júnior (1998).

São encontradas também árvores de ajiru (*Chrysobalanus icaco* L.), caju (*Anarcadium occidentale* L.) e muruci (*Byrsonima crassifolia* H. B. K.), na vegetação de cheniers e dunas. Na parte central da ilha de Itarana, verifica-se espécies arbóreas, arbustivas e cipós. Uma vegetação herbácea é encontrada nas interdunas formando campos com depressões alagáveis na época de chuva e também lagos perenes com vegetação macrófita aquática (Bastos & Lobato, 1995).

Os manguezais encontram-se entre os mais importantes ecossistemas da costa norte do Brasil, reunindo os litorais do Amapá, Pará e Maranhão. Desenvolvem-se na interface entre o continente e o oceano, nas áreas estuarinas, atrás de restingas, praias e dunas (Prost & Rabelo, 1996).

O litoral paraense abriga uma parcela bastante significativa dos manguezais brasileiros. Esses manguezais são ambientes litorâneos altamente especializados, cuja vegetação é caracterizada pela presença de espécies já citadas, que apresentam notável adaptação às condições locais – salinidade elevada, notadamente (Prost & Rabelo, 1996).

2.2.3- Hidrografia

A dinâmica atual da região Costeira Norte Brasileira acha-se representada pela ação incisiva da descarga fluvial e ação de correntes de maré, que geram uma morfologia tipicamente estuarina com planícies de maré e manguezais associados (Martins, 1987).

A região estudada apresenta baías estuarinas, recortadas por inúmeros furos, córregos e canais de maré. A área estudada está representada pelas baías do Arapepó e do Inajá, que se interligam através do “furo” Grande. A baía do Arapepó situa-se na porção NW do município de São João de Pirabas . A baía de Inajá localiza-se à leste, possui uma largura máxima de 2 km, e limita-se internamente com a foz dos rios Matias, Inajá, Grande e pelo igarapé Boa Esperança (Silva Júnior, 1998).

A região é dominada por macro-marés, semi-diurnas, com amplitudes máximas em torno de 5,7 m, sendo a amplitude média das marés de sizígia de 4,9 m e está

submetida à ação predominante de ventos alísios de NE, com velocidades médias de 7,9 m/s, predominantes nos meses de dezembro e maio (D.H.N., 1995).

As correntes que atuam são de maré, que atingem velocidades máximas de 2,1 nós e mínimas de 1,9 nós, com direções E-NW e NE; e correntes litorâneas, resultantes da chegada de ondas à costa (D.H.N., 1995).

2.2.4- Solos

A região nordeste do Pará está caracterizada por seis classes de solos distintas: Latossolos Amarelo, Podzolissolos (Podzólico Amarelo), Neossolos (Areias Quartzosas Marinhas e Hidromórficas), Solonchak Sódico, Planossolo Solódico e Gleissolos (Glei Pouco Húmico, Glei húmico e Hidromórfico acizentado) (Embrapa 1997b). Na área estudada destacam-se os seguintes:

2.2.4.1- Latossolos amarelo

São solos com horizonte B latossólico, muito profundo, friáveis, com classe textural variando de média a muito argilosa, com cores brunadas, bruno-amareladas, bruno forte e vermelho-amarelado. São extremamente a fortemente ácidos, com valores de pH em H₂O variando de 4,2 a 4,9.

São encontrados em relevos que variam de plano a suave ondulado, não tendo sido observado a ocorrência de erosão intensa, principalmente, quando sob proteção da vegetação (capoeira). Produto da intemperização de sedimentos pré-edafizados do Grupo Barreiras, independente da textura, são aproveitados agricolamente com pastagens e plantio de dendê, pimenta do reino, mamão, maracujá e culturas de subsistência.

Como variação desta classe são encontrados o Latossolo Amarelo Podzólico.

2.2.4.2- Podzolissolos (Podzólico amarelo)

Os solos compreendidos nesta classe apresentam-se profundos, bem a excessivamente drenados, com presença de horizonte B textural, baixa relação silte/argila, ausência ou presença, somente em pequenas proporções, de cerosidade.

Esses solos são desenvolvidos de rochas sedimentares do Terciário com cores avermelhadas ou amareladas, baixo valores de óxido de ferro, presença de alta relação textural, sem evidência nítida de movimentação de argila ao longo do perfil. Apresentam, normalmente minerais de argila de atividade baixa, devido a fração argila ser constituída por minerais de grupo da caulinita, sesquióxidos, quartzo e outros minerais resistentes ao intemperismo. Os teores de soma de bases e capacidade de troca de cátions decrescem com a profundidade, o mesmo acontecendo com os teores de carbono, evidenciando a influência da matéria orgânica na retenção de nutrientes nesses solos.

São solos extremamente a fortemente ácidos com valores de pH em H₂O de 4,2 a 5,2. São encontrados regionalmente em áreas com relevo plano, suavemente ondulado, sob vegetação de Floresta Equatorial Primária e Secundária (capoeiras).

2.2.4.3- Neossolos (Areias Quartzosas)

Compreende solos minerais muito pouco desenvolvidos, altamente intemperizados, profundos, com conteúdo de argila sempre menor que 15% dentro de uma profundidade de 200cm ou mais. Possuem um horizonte A fracamente desenvolvidos, ligeiramente escurecidos pela matéria orgânica quando se tratar de dunas fixadas. O horizonte A pode estar ausente quando em áreas desprovidas de vegetação, localizadas próximas ao mar ou sujeitas aos efeitos abrasivos do vento. Quando o mesmo estiver presente, repousa sobre o horizonte C, constituído por areia quartzosa cuja origem se deve a deposição marinhas e redistribuição pela ação dos ventos nas faixas litorâneas.

São distróficos, extremamente a fortemente ácidos, com coloração acizentadas. Situam-se nas baixadas e nas dunas sobre os terraços ao longo da faixa costeira,

produto da sedimentação de materiais areno-marinhos do Quaternário. As formações vegetais que recobrem esses solos são arbustivas representadas, principalmente, pelo ajuru (*Chysobalamus icaco L.*) e alecrim-da-praia (*Bulbostylis capillaris C. B. Clark*).

Como variação desta unidade, foram encontradas Areias Quatzosas Hidromórficas, associadas aos Solos Aluviais, com pouca expressão na área. A Figura 3 mostra um perfil de um solo mineral em que são mostrados os horizontes principais que poderão estar presentes já que a espessura, composição e aparência dos vários horizontes varia largamente de lugar para lugar, determinado inicialmente por interações de fontes materiais, climáticas, topográficas, atividade biológica e idade.

2.2.4.4- Gleissolos (Glei húmico, Glei pouco húmico e Hidromórfico cinzento)

Compreende solos constituídos por material mineral, hidromórfico, com horizonte A ou E (gleizado ou não), seguido de horizonte diagnóstico glei começando a menos de 50cm da superfície. Apresentam, superficialmente, teor elevado de matéria orgânica, sempre acima de 5%.

Os solos desta classe são permanentemente ou periodicamente saturado por água, salvo se artificialmente drenados. Os solos são muito mal ou muito mal drenados, em condições naturais, caracterizam-se pela forte gleização, em decorrência do regime de umidade redutor, que se processa em meio anaeróbico, com muita deficiência ou mesmo ausência de oxigênio, devido ao encharcamento do solo por longo período ou durante todo o ano.

O processo de gleização implica, não unicamente, na manifestação de cores acinzentadas, azuladas, esverdeadas, devido a composto ferrosos resultantes da escassez de oxigênio. Implica, também, na redução e solubilização de ferro, promovendo translocação e reprecipitação de compostos de ferro.

Comumente, desenvolvem-se em sedimentos recentes nas proximidades ou mesmo às margens dos cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos a condições de hidromorfia, podendo formar-se também em áreas de relevo alto plano de terraços fluviais, lacustre ou marinho, como também em materiais residuais em áreas

abaciadas e depressões. São solos formados sob vegetação hidrófila ou higrófila herbácea, arbustiva ou arbórea.

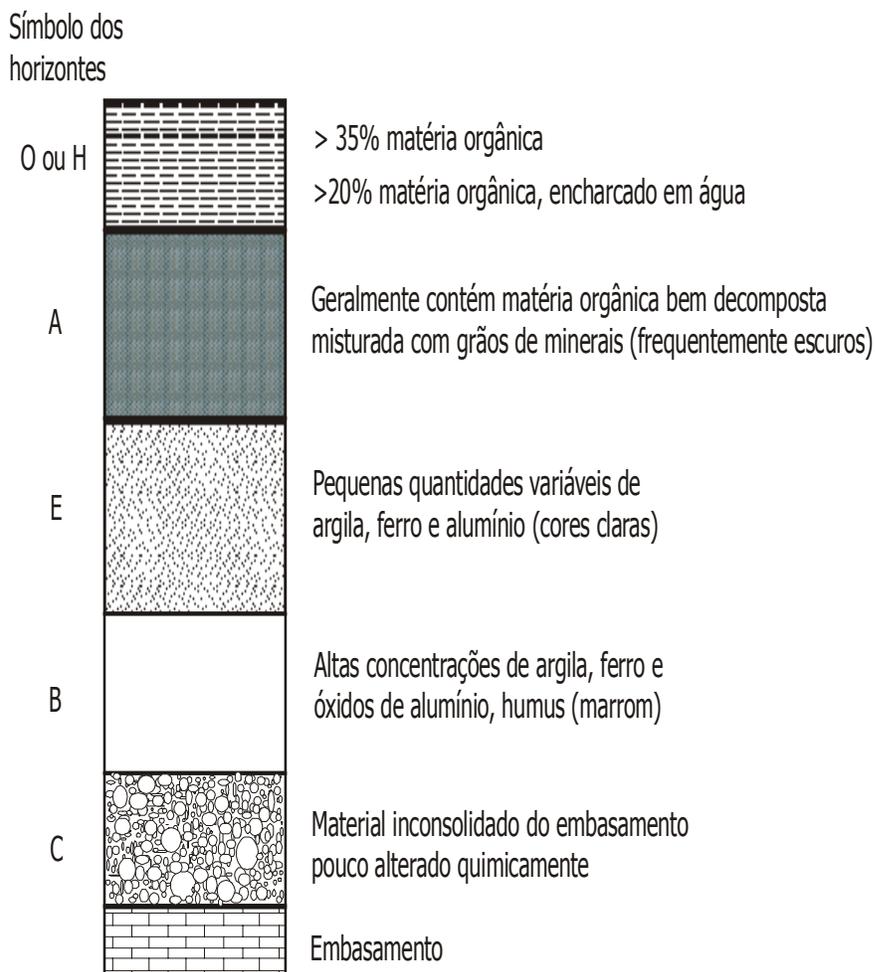


FIGURA 3: Perfil teórico de um solo mineral

Fonte: Brady (1983)

2.2.5- Geomorfologia

Considerando sua localização geográfica e a forte influência de processos atmosféricos e hidrodinâmicos, o litoral paraense apresenta particularidades morfológicas, que denotam um caráter singular para este setor da costa brasileira.

Geomorfologicamente, é considerada como uma costa formada por vales fluviais, parcialmente submersos em decorrência do aumento do nível relativo do mar durante o Holoceno (Prost & Rabelo, 1996).

As “reentrâncias paraense-maranhenses” correspondem a costa recortada, do tipo ria, com baías alongadas e pouco profundas, separadas por cabos arenosos (Prost & Rabelo, 1996).

A dinâmica costeira e sedimentar é caracterizada por uma das maiores descargas fluviais do mundo, um regime de macromarés e por remanejamento espetacular de sedimentos. Essa dinâmica introduz transformações nos parâmetros sedimentológicos, hidrológicos e biogeoquímicos. A fachada arenosa atlântica é submetida a uma forte amplitude de marés e a importantes processos hidrodinâmicos (correntes de maré, ondas) e eólicos (formação de dunas) (Prost & Rabelo, 1996).

A região na qual encontra-se inserida a área estudada está representada por duas unidades morfológicas distintas, o Planalto Costeiro e a Planície Costeira (Figura 4), de acordo com Silva Júnior (1998).

O Planalto Costeiro está caracterizado por uma superfície tabular erosiva, a qual em algumas partes, são interrompidas abruptamente, formando falésias ativas e inativas. Encontra-se sustentado pelos sedimentos areno-argiloso do Grupo Barreiras e Pós-Barreiras e apresenta uma cobertura vegetal do tipo Floresta Secundária (Bemerguy *et. al.*, 1992). Ocorre predominantemente na porção sul e SW da área estudada, e ainda de forma restrita, caracterizado por um relevo colinoso com altitude em torno de 25 m a ilha de Itarana.

A Planície Costeira está representada por sedimentos quaternários que compõem as planícies arenosas, as praias, os cordões de dunas e os manguezais muitos desenvolvidos (Bemerguy *et. al.*, 1992). É a unidade de maior expressão com cerca de 76,6 km². Limita-se a Sul e SE com o Planalto Costeiro, a Norte com o oceano

Atlântico, a Oeste com a baía de Arapepó e a Leste com a baía de Inajá (Silva Júnior, 1998).

2.2.5.1- Formação Pirabas

A Formação Pirabas é constituída principalmente por minerais de carbonato que ocorrem descontinuamente no estado do Pará, Maranhão e Piauí, e são constituídos predominantemente por margas e calcários variados, por vezes intercalados com folhelhos (Ferreira, 1982). Com base no seu conteúdo fossilífero, essa Formação é determinada como sendo do Mioceno Inferior (Ferreira, 1982).

Estudos realizados por Góes *et al.* (1990), no NE do Pará definiram sete fácies representada por: biocalcioruditos, calcarenitosestratificados, calcarenitos não estratificados, margas , biohermitos, folhelhos e micritos, os quais foram depositados em uma plataforma carbonática marinha de água rasa e, secundariamente em lagunas e mangues numa fase transgressiva.

Os calcários da Formação Pirabas ocorrem de maneira restrita à porção SE da ilha de Itarana e na baía de Inajá, somente observados durante a maré baixa (Silva Júnior, 1998). Os estudos de Almaraz (1979) sobre o calcário da Formação Pirabas evidenciaram resultados de análises químicas tais como: na ponta do Castelo (ilha de Fortaleza): CaO (37,5-51,0%); MgO (0,2-11,6%); Fe₂O₃ (0,4-1,9%); Al₂O₃ (1,0-4,0%); P.F. (34,7-41,6%).

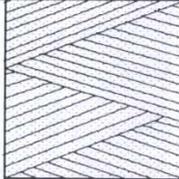
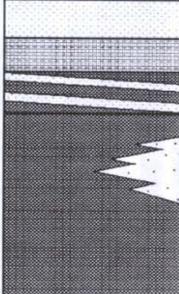
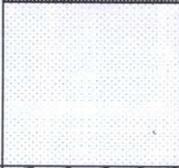
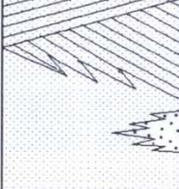
ERA	PERÍODO	ÉPOCA		UNIDADES	AMBIENTES	SUCCESSÕES ESTRATIGRÁFICAS	
CENÓZOICO	QUATERNÁRIO	HOLOCENO		Dunas Frontais (Atuais) Praia Barras Arenosas	Litorâneo	Sucessão Marinha Retrogradacional Atual (S3)	
				Barra em Pontal Chenier Manguezal	Planície de Maré	Sucessão Marinha Progradacional (S2)	
				Face Praial	Litorâneo	Sucessão Marinha Retrogradacional (S1)	
	QUATERNÁRIO	PLEISTOCENO		Paleodunas Canal de Maré Cordões Praiais	Litorâneo	Sucessão Marinha Retrogradacional Basal (SB)	
				Barra em Pontal Manguezal	Planície de Maré		
				?	?	?	?
	CENÓZOICO	TERCIÁRIO			Grupo Barreiras	Planície de Maré	
				Formação Pirabas	Plataformal Raso		

FIGURA 4: Coluna estratigráfica simplificada para a Planície Costeira de São João de Pirabas (porção NW).

Fonte: Silva Júnior (1998)

2.2.5.2- Grupo Barreiras

Os sedimentos do Grupo Barreiras constituem-se geralmente por argilas, silte e areia fina, podendo apresentar leitos de areias e conglomerados de cores variadas (vermelho, amarelo e esbranquiçado). No nordeste do Pará as ocorrências dos sedimentos do Grupo Barreiras encontram-se principalmente nas regiões do Salgado e Bragantina, bem como em áreas próximas a cidade de Belém (Silva Júnior, 1998).

Estudos realizados na região Bragantina sugeriram que a deposição do Grupo Barreiras corresponde ao final do Terciário e início do Quaternário (Ackemann, 1964, 1969).

A partir das estruturas sedimentares e do arranjo faciológico do Grupo Barreiras caracteriza-se a presença de um ambiente de planície de maré que, de acordo com dados palinológicos, está associado a mangues, possivelmente relacionados a um sistema estuarino e também que a influência marinha nos sedimentos pode ter sido mais ampla do que se acredita (Rossetti *et al.*, 1990).

Góes & Trunckenbrodt (1980) e Góes (1981) dividem o Grupo Barreiras em três litofáceis: argilo-arenosa, arenosa e conglomerática. Estudos realizados no NE do Pará, mostram a separação dos depósitos terciários e quaternários em duas unidades distintas e utiliza os termos descritivos Barreiras e Pós-Barreiras para diferenciar unidades sedimentológicas que se encontram em contato erosivo, ressaltado por blocos de arenito ferruginoso (Sá, 1969).

Rossetti *et al.* (1989) caracterizaram para os sedimentos Barreiras ocorrentes na região NE do Pará, treze fáceis litológicas distintas, definidas principalmente pela presença ou não de estruturas sedimentares e aspectos texturais.

O Grupo Barreiras sustenta o Planalto Costeiro e ocorre margeando a Planície Costeira ou de forma restrita como um relevo colinoso localizado a SE da ilha de Itarana (Silva Júnior, 1998).

2.2.5.3- Sedimentos Pós-Barreiras

A denominação Pós-Barreiras foi utilizada por Sá (1969), para designar os sedimentos amarelos, imediatamente sobreposto ao Grupo Barreiras e que correspondem ao Quaternário Antigo de Katzer (1933) e Ackemann (1964).

Os sedimentos Pós-Barreiras são compostos por arenitos argilosos mal selecionados, de coloração variando de marrom a amarelo, friáveis (Rosseti *et al.*, 1989).

Ackermann (1964) propôs que para o Quaternário Recente devem ser considerados os baixos dos atuais rios que são parcialmente alagados pelas marés altas ou na época da chuva e para o Quaternário Antigo as faixas fora das inundações, constituídas essencialmente de areias mal selecionadas, de misturas com argilas e uma rocha vulgarmente chamada de grés-do-Pará.

2.3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.3.1- Matéria orgânica em sedimentos de manguezais

A matéria orgânica é um componente integral dos sedimentos e desempenha um importante papel nos processos biológicos, químicos e físicos operando nos ambientes. A matéria orgânica acumulada nos solos de mangue é principalmente derivada de duas fontes: da liteira que depois da decomposição será incorporada na superfície do solo e também das raízes mortas que acrescentam matéria orgânica para o solo em várias profundidades (Schwendenmann, 1998).

Essa matéria orgânica é geralmente dividida em dois grupos: as substâncias não-húmicas e as húmicas. A Figura 5 mostra como a matéria orgânica está representada no solo. Uma importante propriedade das substâncias húmicas é a capacidade de interagir com íons metálicos para formar complexos de diferentes estabilidades e características estruturais. As substâncias húmicas são formadas por reações de síntese secundária (humificação), durante os processos de degradação e

transformação de biomoléculas originadas de organismos mortos e de atividade microbiana (Schnitzer & Khan 1978).

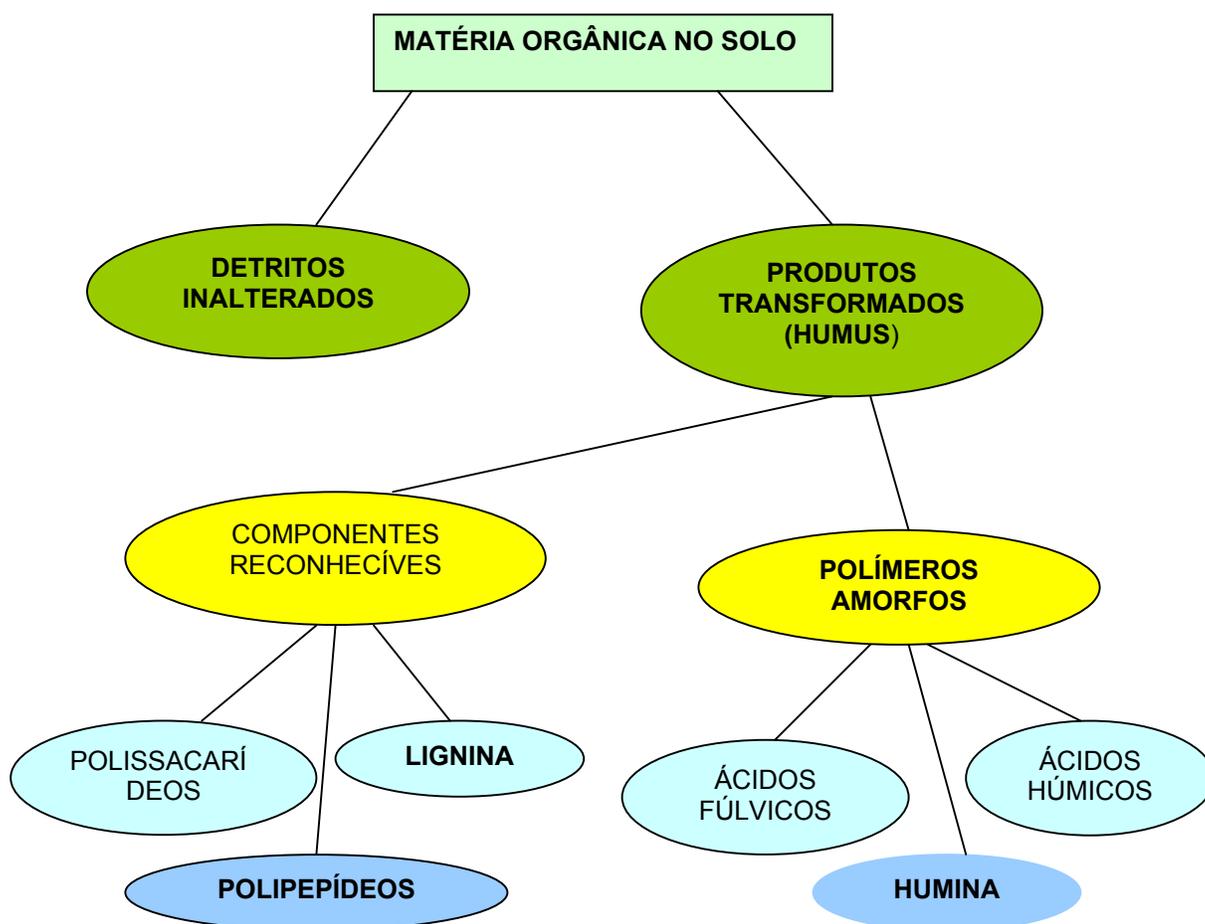


FIGURA 5: Esquema de classificação para a matéria orgânica no solo.

Segundo Stevenson (1982) existem quatro hipóteses principais para explicar a formação das substâncias húmicas; uma delas é a hipótese de alteração dos tecidos das plantas – as frações dos tecidos vegetais mais resistentes à degradação microbiológica, especialmente as ligninas, sofrem alterações apenas superficialmente no solo; nos primeiros estágios da humificação são formados o ácido húmico e a humina, que posteriormente são degradados em ácidos fúlvicos. As substâncias húmicas constituem o maior reservatório de carbono orgânico nos solos, chegando a 60-70% (Mayer, 1985; Senesi, 1993).

A matéria orgânica tem papel fundamental na qualidade do solo, pois atua como reserva de nutrientes para a biota, influencia o pH, a troca de cátions e aniões e, também, as propriedades físicas dos solos, tais como agregação, porosidade e retenção de água (Gregorich *et al.*, 1994).

Uma substancial quantidade de carbono orgânico pode ser trazido para os sedimentos através da precipitação coloidal da matéria orgânica das partículas em suspensão trazidas pela maré. A completa decomposição da matéria orgânica devolve o carbono, nitrogênio e o fósforo para sua forma solúvel; este processo é chamado de regeneração dos nutrientes ou remineralização (Hutzinger, 1980 ; Thurman, 1985).

A quantidade de matéria orgânica e nutrientes liberados da decomposição da liteira depende também da espécie das plantas. Lacerda *et al.* (1995), relataram que os solos de *Avicennia* apresentam conteúdo de nitrogênio e matéria orgânica maior que em solos de *Rhizophora* devido diferenças na composição química das folhas. A liteira de *Rhizophora* é rica em tanino que inibe a atividade de organismos bentônicos; em consequência os solos de *Avicennia* têm mais nutrientes facilmente disponíveis.

As bactérias nos sedimentos de manguezais são mais produtivas do que nos sedimentos marinhos e atuam como semidouros para nutrientes particulados e dissolvidos. Essas populações altamente produtivas são capazes de capturar muitos nutrientes dissolvidos disponíveis nas águas intersticiais dos sedimentos e nas águas subjacentes (Robertson & Philips, 1995).

O fluxo de entrada e de saída de água com os ciclos de maré aparenta atuar na determinação das águas e nas condições do sedimento das áreas de manguezais (Mazda, 1990).

2.3.2- Características geoquímicas de rios da bacia amazônica

As águas superficiais amazônicas podem ser classificadas em três diferentes tipos: águas claras, águas brancas e águas pretas (Sioli, 1967).

Os rios de águas claras possuem cor verde-azuladas e carregam pouco material em suspensão. Esses que originam-se na bacia Amazônica são mais límpidos e mais pobres em partícula suspensa e suas águas são ácidas e pobres em sais minerais, eles formam praias e possuem pouca produção de matéria orgânica.

Os rios de águas brancas possuem muitas substâncias em suspensão, coloração marrom-amarelada e suas águas são turvas (barrentas) e também são ricas em nutrientes minerais e orgânicos. Esses rios apresentam sedimentação e erosão intensas e simultâneas, formando várzeas (Sioli, 1967; Bringel, 1984).

Os rios de águas pretas apresentam coloração marrom e um fraco processo de erosão que é reduzido ainda mais pela densa mata fluvial e por isso contém baixa carga de sedimentos e uma grande transparência (Bringel, 1984; Sioli, 1985). A formação geológica das nascentes tornam essas águas ácidas e isso pode ser atribuído à presença de ácidos húmicos, originários de substâncias orgânicas não mineralizadas pelo solos da floresta (Walker, 1987).

Sioli (1951) chamou atenção para o material húmico relacionado com os rios de “águas pretas. Relacionou a oxidabilidade ao permanganato com “ácidos húmicos”, justificando que a maior parte das substâncias orgânicas presentes nas águas naturais é atribuída ao material oriundo do húmus. Suas estimativas (Sioli, 1951) levaram a teores de matéria orgânica oxidável pelo permanganato para índices elevados, como são os casos de afluentes do rio Cupari, onde o autor registrou valores de até 151,36 mg/litro expressos em termos de KMnO_4 .

Os trabalhos de Leenheer (1980) sobre quantificação e identificação de material húmico em rios de “água preta” levou esse pesquisador a concluir que o conteúdo de carbono orgânico dissolvido no rio Negro era da ordem de 10 a 11,7 mg/litro. Seus ensaios sobre titulação de acidez total e acidez devida a solutos húmicos, levaram à conclusão sobre um percentual de 53% destes últimos.

Lima & Kobayashi (1988), estudando a influência da sazonalidade no quimismo das águas do sistema flúvio-estuarino de Barcarena, às proximidades de Belém (PA), interpretaram que as colorações das águas de certos igarapés e da própria baía do Marajó (índices variando de 40 a 100UC), sob influência da vegetação (notadamente no período chuvoso), estavam diretamente relacionados com a presença de “substâncias coloridas, tais como taninos, ácidos húmicos, humatos”, obtendo concentrações da ordem de 7,8 a 15,7ppm O₂ para demanda química de oxigênio (equivalentes a, aproximadamente, 3 e 6mg de C/litro de carbono orgânico, respectivamente).

A tabela 1 apresenta valores de alguns parâmetros de rios da bacia amazônica, onde observa-se que enquanto o pH de rios de “águas pretas” se apresenta mais baixo (águas mais ácidas), o teor de matéria orgânica dissolvida é apreciavelmente mais elevado do que nos rios de “águas brancas e “águas claras”.

Na natureza há transição entre águas brancas e águas claras, bem como entre águas claras e águas pretas e dependem das variações sazonais podem ocorrer trocas. Essas águas estão associadas também a sua geologia no que diz respeito aos sedimentos de água doce do Grupo Barreiras, onde essas águas apresentam valores baixos de pH e são pobres em sais inorgânicos dissolvidos; e a Formação Pirabas, onde são encontrados valores mais elevados de pH, devidos altos teores de bicarbonato (Sioli, 1960).

Tabela 1: Parâmetros químicos e físico-químicos de rios da bacia amazônica

Parâmetros	rio Negro águas pretas	rio Solimões águas brancas	rio Barro Branco águas claras
pH	4,2	4,9	4,5
Cond. elet. (µs/cm)	12	72	9,0
COD (%)	11,7	4,1	4,7

COD: carbono orgânico dissolvido
Fonte: Leenheer (1980)

A produção primária, as partículas e substâncias dissolvidas alóctones possuem grande influência no que diz respeito ao ciclo do carbono e nutrientes nas águas amazônicas (Wissmar *et al.*, 1980). A Figura 6 mostra o ciclo do carbono nas águas. As substâncias húmicas atuam na água, assim como a entrada de CO₂ do ar em águas pouco tamponadas e tendem a baixar o pH, agindo no grau de acidez, na coloração mais escura das águas e na concentração de substâncias orgânicas (Junk & Furch, 1985).

Segundo Leenheer (1980) a fonte primária dos rios de “águas pretas” são as águas drenadas de solos Podzols e o material orgânico responsável pela coloração dessas águas tem propriedades físicas e químicas similares às substâncias húmicas do solo.

Em recente abordagem sobre características biogeoquímicas de ecossistemas amazônicos (incluindo matéria orgânica de manguezal), com ênfase para a caracterização química de frações húmicas, Menezes & Lima (1999) e Menezes (1999) registraram índices para a coloração das águas, sob influência de material húmico e no período chuvoso, da ordem de 60 UC (estuário do rio Arapepó, município de Salinópolis) e 120 UC (estuário Guajará, município de Belém) compatíveis com teores de carbono orgânico dissolvido em torno de 15,8 (Arapepó) e 13,83 (Guajará), teores esses expressos em mg de KMnO₄ por litro (equivalentes estequiométricos da ordem de 1,5 e 1,31 mg de C/ litro, respectivamente).

Sobre a matéria orgânica no manguezal de Bragança (PA), Schwendenmann (1998) e Dittmar (1999) procederam avaliação em sedimentos e águas, obtendo valores máximos da ordem de 600uM (Dittmar, no “furo” do Meio) e 3400uM (Schwendenmann, no “furo” do Chato) para o carbono orgânico dissolvido e 10,1% de matéria orgânica em sedimento superficial de manguezal (Schwendenmann, 1998).

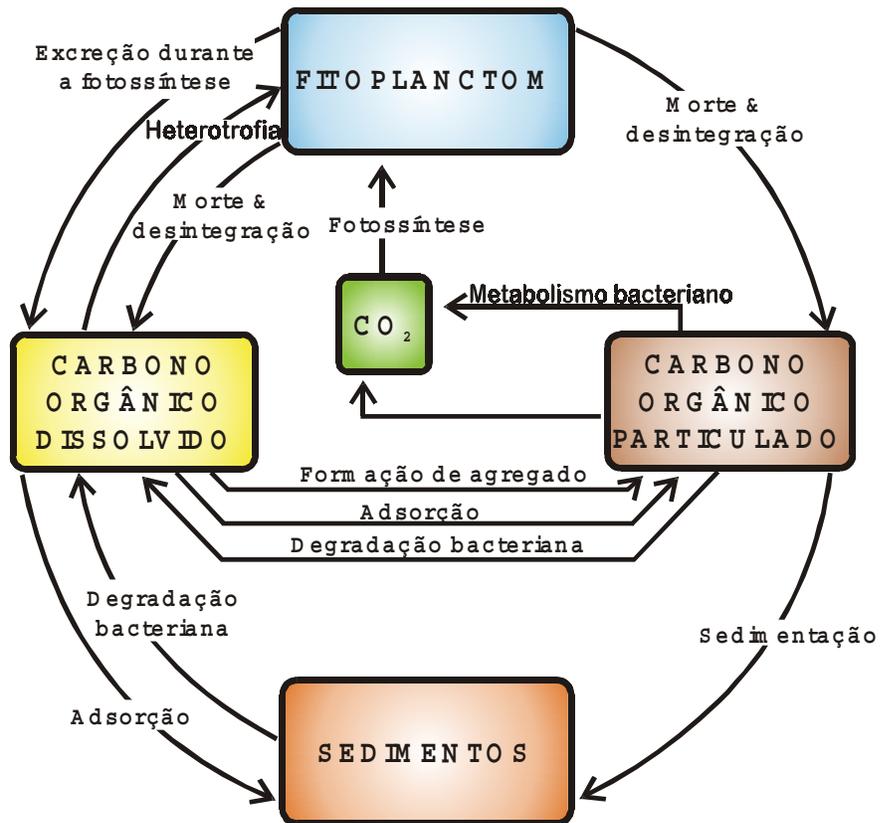


FIGURA 6: Ciclo do carbono orgânico nas águas.

Fonte: Chester (1993)

2.3.3 – Características geoquímicas da matéria orgânica das águas estuarinas da microrregião do Salgado (NE do Pará)

Os processos principais que conduzem à formação de material particulado nos estuários são: floculação, precipitação e produção biológica de matéria orgânica. As várias fontes de material particulado no estuário e os principais processos que os afeta estão esquematizados na Figura 7.

A circulação da água no estuário é controlada pela topografia, correntes de maré e o volume de descargas de água doce. A transição de água doce para água salgada causa mudanças químicas e físicas nas cargas em suspensão e dissolvidas do rio. A floculação é um importante efeito físico; argilominerais, matéria orgânica e colóides tendem a ficar em suspensão na água doce, porém floculam e sedimentam na água salgada (Drever, 1988).

Os rios ricos em nutrientes contribuem diretamente para o estuário, tendo frequentemente grande efeito em sua produtividade (Drever, 1988).

Para o ambiente das águas estuarinas da foz do rio Arapepó, Menezes & Lima (1999) e Menezes (1999) enfatizaram a caracterização química de frações húmicas de amostras coletadas em áreas de manguezais e procederam a avaliação de parâmetros físico-químicos e determinação de concentrações de clorofilas (a, b, c). Os resultados obtidos mostraram que a matéria orgânica dominante é de natureza húmica.

A matéria orgânica presente no manguezal de Bragança foi abordada por Cohen (1998), Schwerdenmann (1998), Dittmar (1999). O carbono orgânico dissolvido pode chegar a valores da ordem de 600 umoles/litro no “furo” do Meio ou mesmo 3600 umoles/litro no “furo” do Chato. Nos sedimentos mais superficiais, o teor de matéria orgânica atingiu um máximo em 10,1% (Schwerdenmann, 1998). Os estudos concluíram, entre outras indagações, que a matéria orgânica transportada para o estuário procedia de três origens – a marinha, a emanada do manguezal e a terrestre.

O principal veículo para o transporte de nutrientes e matéria orgânica do manguezal para o estuário é o fluxo de água intersticial do horizonte superior do sedimento para a maré e subseqüentemente para o estuário; o fluxo de água intersticial é controlado principalmente pela oscilação da maré. Uma vez incorporado para dentro

do corpo d'água o nutriente e a água intersticial, rica em matéria orgânica, voltam para floresta de mangue durante a inundação e não são transportados para o estuário até a vazante da maré (Dittmar, 1999).

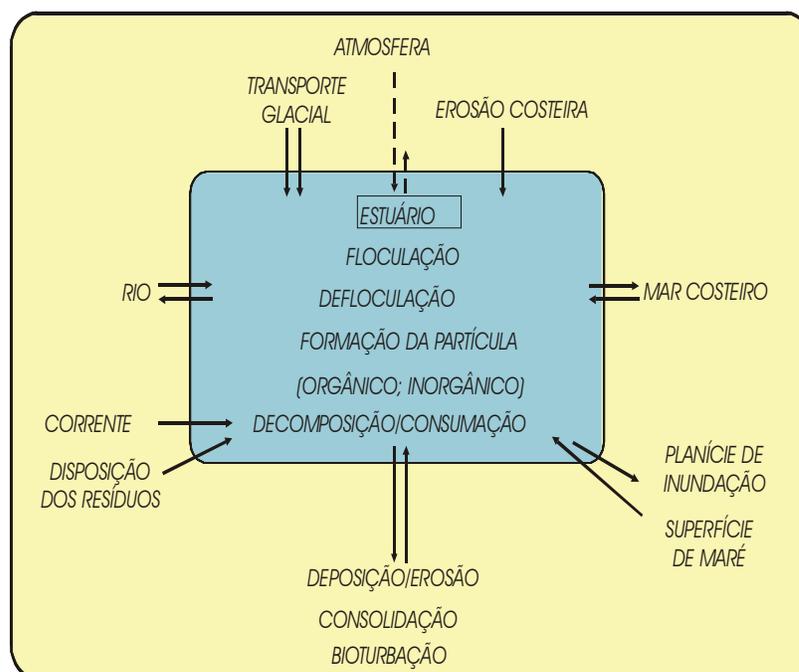


FIGURA 7: Esquema geral de fontes de material em suspensão no estuário e principais processos que afetam o material particulado em suspensão. As setas indicam as direções de transporte.

Fonte: Degens *et al.* (1991)

2.3.4- Características dos sedimentos de manguezais da microrregião do Salgado

A configuração recortada da costa NE do Pará, com inúmeras baías e reentrâncias, é típica de um litoral de “rias”, oferecendo condições fisiográficas propícias para o desenvolvimento de exuberantes bosques costeiros e estuarinos de manguezais, que se encontram protegidos da ação direta das ondas no interior dos estuários (Barbosa & Pinto, 1973).

Nessa região a dinâmica dos processos costeiros atuantes sobre os manguezais dão características morfológicas distintas. A interação sedimento-água desempenha um papel fundamental no ciclo biogeoquímico dos elementos. Uma das mais importantes reações é a mineralização da matéria orgânica durante a diagênese. A matéria orgânica em sedimentos deriva principalmente de fitoplâncton, zooplâncton e de outros materiais orgânicos (Degens *et al.*, 1991).

Um modelo comumente aceitável da decomposição da matéria orgânica é ilustrado na Figura 8, onde observa-se que: (1) a decomposição da matéria orgânica, em presença de gás oxigênio, leva à produção de CO_2 e de nutrientes livres como nitratos (NO_3^-) e fosfatos (PO_4^{3-}); essa decomposição ocorre em camadas mais superficiais (óxicas); (2) a liberação do Mn^{2+} para as águas resulta da interação de espécies químicas em maior estado de oxidação (por exemplo MnO_2) com a matéria orgânica em típica reação de oxi-redução; por isso é que muitos sedimentos ricos em matéria orgânica apresentam baixos teores de Mn; (3) a desnitrificação é causada pela ação de bactérias na matéria orgânica nitrificada, e resulta na redução de NO_3^- a N_2 ou N_2O ; (4) assim como o Mn^{2+} , o Fe^{3+} pode ser reduzido a Fe^{2+} e eliminado para as águas; (5) a redução do sulfato presente na matéria orgânica resulta da ação de bactérias levando à formação de sulfeto e (6) finalmente observa-se a fermentação que leva a produção de metano.

Nas porções mais externas, que estão submetida a processos erosivos, gerados por ondas e correntes de marés desenvolvem-se terraços erosivos, e nas porções mais protegidos, onde atuam os processos deposicionais, são representados pela colonização de manguezais jovens (Silva Júnior, 1998).

As marés constituem o elemento dominante, exercendo influência na direção da correnteza, na intensidade da sedimentação. Durante a sedimentação os sedimentos mais grossos transportados pelas águas depositam-se próximo às margens e os mais finos logo em seguida (Lima & Tourinho, 1985)

Os manguezais da microrregião do Salgado estão associados diretamente com o ciclo das marés tendo sua superfície totalmente submersa durante a preamar e totalmente emersa na maré baixa (Silva, 1996). Esses manguezais normalmente são insulares oceânicos, em partes são gerados a partir dos bancos arenosos migratórios que se desenvolvem nas porções mais externas da linha da costa.

Segundo Silva (1996), a zona de intermaré representada pelos manguezais, é área protegida da ação mais energética das ondas, onde os processos dinâmicos atuantes são as marés e suas correntes de enchente e vazante e apresentam processos de sedimentação dominantes como a decantação e a floculação do material fino em suspensão (lama).

Nos sedimentos, a água intersticial migra lentamente através de diferentes condições físico-químicas, proporcionando transformações geoquímicas no material de origem, capazes de influenciar na evolução sedimentar, no desenvolvimento e estruturação dos bosques de mangue (Turenne, 1997).

Com a fixação da vegetação sobre a lama semi-fluida, dá-se início à maturação dos sedimentos que, a partir da extração da água por evaporação e drenagem interna, tornam-se mais consolidados (Turenne, 1997).

Dittmar (1999) observou que a liteira das árvores de mangue é quantitativamente umas das fontes mais importantes de detritos e conseqüentemente de carbono orgânico e outros nutrientes sendo a mesma rapidamente incorporada ao sedimento devido à atividade dos caranguejos. Sugeriu que produtos da decomposição da liteira (anaeróbicos e aeróbicos) no sedimento de mangue proporcionam a maior parte da matéria orgânica exportada; o tecido de raiz morto pode ter uma influência considerável na composição da matéria orgânica do sedimento.

O transporte de material para dentro do manguezal pode ser caracterizado pela precipitação (chuva e deposição de aerossol); troca de gases (assimilação e liberação

de CO₂, fixação ou desnitrificação de N₂) e fluxo de material através da maré conectando o mangue com o estuário é o que mostra a Figura 15 (Dittmar, 1999).

O manguezal pode agir como uma fonte de material (erosão de sedimentos ou exportação de nutrientes); como um sorvedouro (sedimentação ou importação de nutrientes) e como reator (transformando nutrientes inorgânicos em tecido orgânico). Na maior parte das áreas de manguezal no norte do Brasil dominadas por maré, provavelmente uma alta quantidade de sedimento em suspensão, detritos, coloides e componentes dissolvidos são transportados pela maré que conecta o mangue com o estuário (Dittmar, 1999).

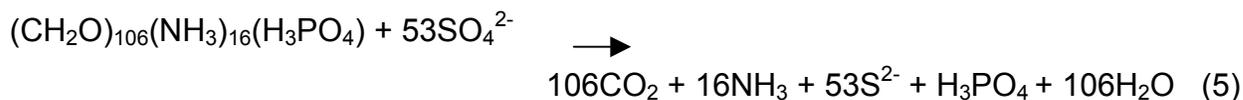
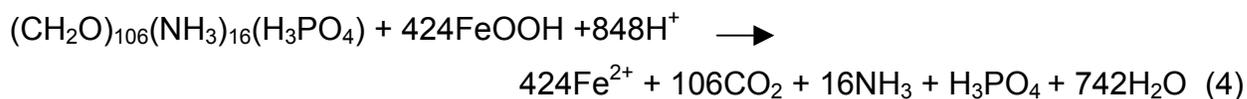
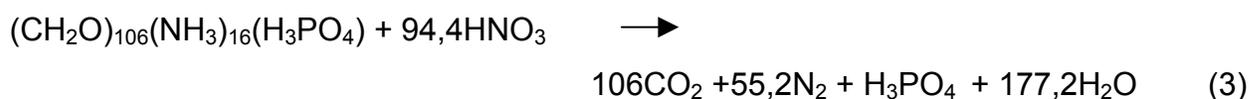
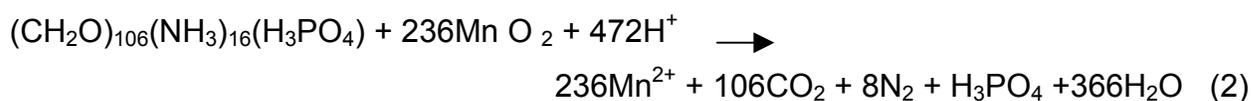
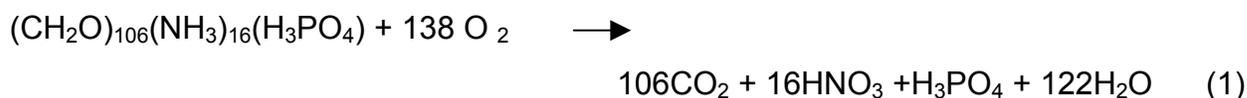
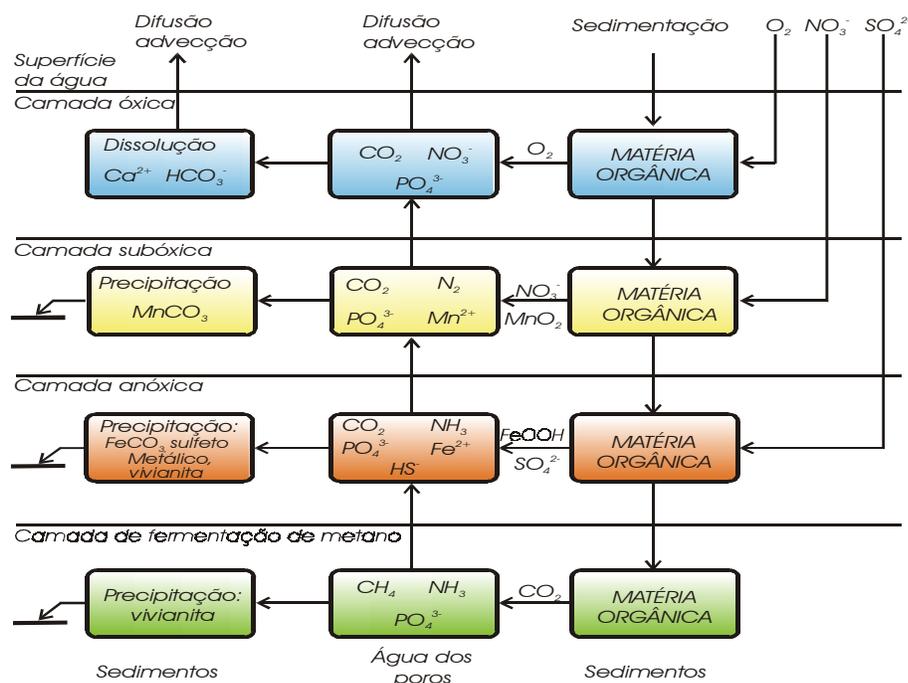


FIGURA 8: Processo de decomposição da matéria orgânica, com suas reações.

Fonte: Song (1999)

3. METODOLOGIA APLICADA

3.1- TRABALHOS PRELIMINARES

Os trabalhos iniciais constaram de um levantamento bibliográfico sobre o assunto estudado e de uma viagem à ilha de Itarana para reconhecimento do local e seleção dos pontos de coleta e também a organização do laboratório diz respeito à preparação de soluções e reagentes necessários durante a amostragem e em análises.

3.2- TRABALHOS DE CAMPO

O trabalho de campo foi realizado segundo uma variação sazonal, na seguinte seqüência: novembro de 2000 caracterizado como final da estiagem; a segunda campanha em 08 de junho de 2001, caracterizada pelo período chuvoso.

3.2.1- Amostras de sedimentos

As coletas de amostras de sedimentos superficiais (mais duros) foram feitas utilizando o martelo de geólogo e as amostras de sedimentos (lamosos) profundas foi utilizado o trado de ferro de 1m. As amostras de sedimentos foram armazenadas em sacos plásticos e protegidas da iluminação. No laboratório foram homogeneizadas e mantidas em “freezer” à temperatura de -25°C até efetivação das análises, para impedir a continuidade das atividades biogeoquímicas.

Elegeu-se para a amostragem de sedimentos dez pontos, definidos conforme reconhecimento da área fisiográfica estudada e baseou-se também em quatro fácies estatigráficas selecionadas que ocorrem sob a Unidade Morfoestatigráfica Manguezal descritas por Silva Júnior (1998). A Tabela 2 descreve as amostras desses sedimentos. As Figuras 9, 10, 11, 12 e 13 exibem os locais de coleta.

3.2.2- Amostras de água

As coletas de águas foram feitas respeitando todos os procedimentos de campo, recomendados pela APHA AWWA WPCF (1976) e CETESB (1978b). Foram armazenadas em frascos de polietileno, lavados previamente com água e solução ácida; foram mantidos em isopor com gelo até a chegada no laboratório para posterior execução das análises. As análises de pH e condutividade elétrica foram feitas no local.

Elegeram-se quatro pontos estratégicos diferentes para que fossem verificadas as influências do ambiente e também a sazonalidade da região em estudo. Duas amostras de água acumuladas em cavidades, na localidade de Pilões, foram coletadas separadamente para a análise de material húmico bruto pela espectroscopia de absorção na região do infravermelho.

As amostras foram denominadas FA, FG, FP e MB, sendo FA coletada na saída do rio Arapepó, próximo ao oceano; FG coletada no “furo” Grande; FP coletada no “furo” do rio Pirabas; MB coletada às proximidades do meio da baía de Inajá e EA (extrato aquoso) coletada em cavidades localizadas em Pilões mostrada na Figura 14.



FIGURA 9: Vista dos depósitos arenosos (arenito Pilões), dispostos na forma de terraços acima do nível da maré alta; presença de erosão na forma de pequenas cavernas que apresentam as bordas com uma coloração marrom-escura e endurecidas, onde ocorre a fácies Areia de Cordões Praiais. Local de coleta de três amostras (AP1, AP2 e AP3).



FIGURA 10: Vista parcial do material arenoso de coloração marrom-escuro, rico em matéria orgânica, com estrutura bioturbada nas porções mais baixas dos terraços, observados somente com a maré baixa; localizado no “furo” Grande, onde ocorre a fácies Areia de Cordões Praiais. Acima observa-se vegetação de mangue. Local de coleta de duas amostras (FG1 e FG2).



FIGURA 11: Vista parcial de afloramento de calcário da Formação Pirabas, próximo à vegetação de mangue a SE da ilha de Itarana, onde ocorre a fácies Arenó-Argilosa. Local de coleta de uma amostra (PR1).



FIGURA 12: Vista parcial de um afloramento de calcário da Formação Pirabas, visto somente com a maré baixa, localizado na baía de Inajá, onde ocorre a fácies Sedimentos Carbonáticos. Local de coleta de duas amostras (PR2 e PR3).

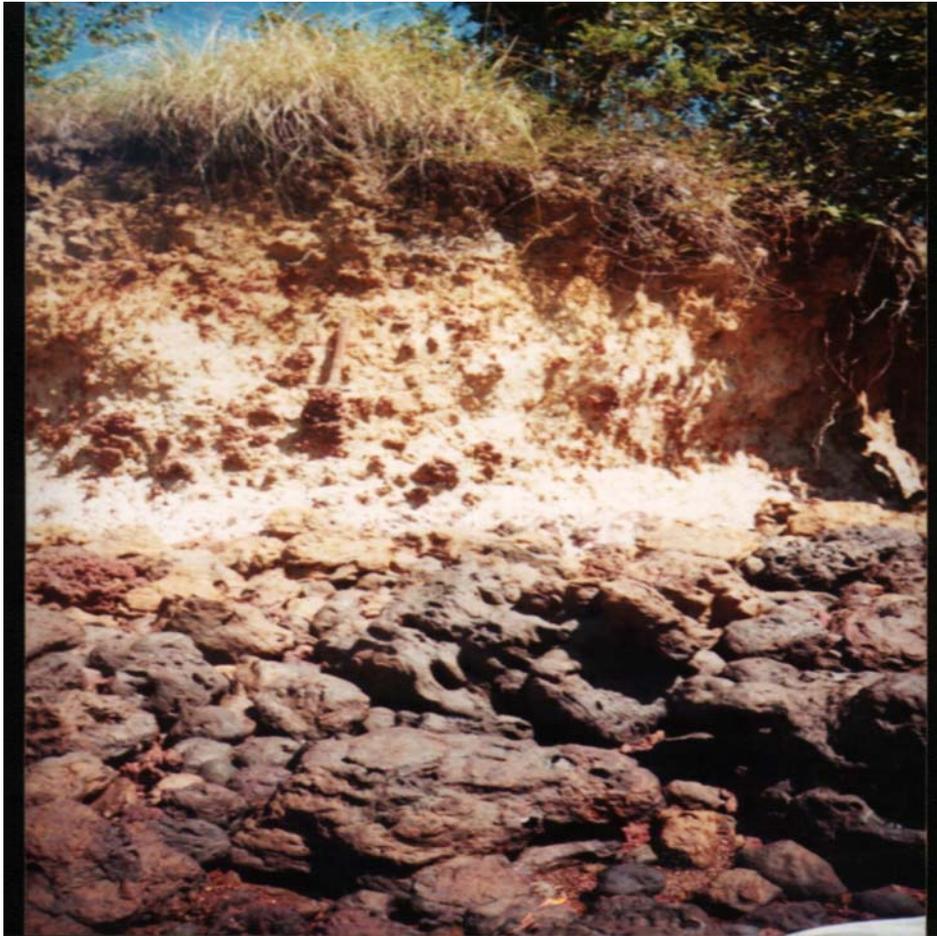


FIGURA 13: Vista parcial da falésia esculpida nos sedimentos do Grupo Barreiras, localizada a SE da ilha de Itarana, onde ocorre a fácies Arenosilteosa. Local de coleta de uma amostra (BR1).



FIGURA 14: Vista de um pequeno depósito de água acumulada no período chuvoso e lixiviada, localizado em Pilões. Local de coleta de amostra de extrato aquoso (EA).

3.3- TRABALHOS DE LABORATÓRIO

3.3.1- Análises em sedimentos

3.3.1.1 – Análises químicas em sedimentos

As amostras estudadas sofreram o seguinte tratamento prévio: secagem à temperatura ambiente, pulverização com grau de ágata e novamente secagem a 110°C em estufa; posteriormente, as amostras foram pesadas (0,5g) e passadas por um processo de decomposição química.

O objetivo da decomposição é solubilizar os elementos que constituem a amostra para serem posteriormente analisados. A técnica utilizada para análises de elementos maiores (Na_2O , CaO , MgO , K_2O) e do MnO foi a decomposição total das amostras de sedimento pela digestão ácida com ácido fluorídrico concentrado e ácido perclórico na proporção 10:1 em banho de areia. Após a digestão o material foi filtrado quantitativamente e lido por espectrofotometria de absorção atômica no aparelho PERKIN-ELMER, modelo 3300, segundo Welz (1976).

Para análise de SiO_2 foi realizada uma fusão alcalina, com tetraborato de lítio, em cadinho de platina, no forno mufla a 1000°C durante 1 hora, segundo Maxwell (1968). Após o resfriamento, a massa fundida foi dissolvida com HCl 2N, filtrada em papel quantitativo de filtração lenta para um balão de 250 mL (solução estoque).

O material retido no papel de filtro citado acima foi tratado com HF concentrado, transformado em SiF_4 e calcinado em forno mufla a 1000°C. Por diferença de peso, antes e após a fluorização, determinou-se o teor de silício (SiO_2).

As técnicas utilizadas para os demais foram as seguintes:

Al_2O_3 – por titrimetria, pela análise compleximétrica com EDTA, segundo Bassett et al. (1981).

Fe_2O_3 – espectrofotometria na região do visível com solução de ortofenantrolina (0,1%); aparelho: espectrofotômetro marca Beckman, modelo DU – 6, região do visível em $\lambda = 510$ nm, segundo Maxwell (1968).

P₂O₅ (fosfato total) – espectrofotometria na região do visível pela redução do molibdato, em meio ácido; aparelho: espectrofotômetro marca Beckman, modelo DU – 6, na região do visível em $\lambda = 830$ nm, segundo Riley (1958).

TiO₂ – espectrofotometria na região do visível, em meio ácido, reagindo com peróxido de hidrogênio, formando um complexo de cor vermelho-alaranjado; aparelho: espectrofotômetro marca Beckman, modelo DU – 6, na região do visível em $\lambda = 410$ nm, segundo Maxwell (1968); Jeffery (1975).

H₂O⁺ - por gravimetria, perda ao fogo por calcinação; aparelho: forno mufla com temperatura entre 900°C a 1000°C, segundo Maxwell, (1968).

H₂O⁻ - por gravimetria, umidade; aparelho: estufa a 110°C, segundo Maxwell (1968).

Carbono orgânico – por titulometria. 0,05g da amostra é oxidada com 10ml de solução de K₂Cr₂O₇, em meio ácido (H₂SO₄), sendo o excesso de dicromato titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal (0,1N), utilizando ferroína como indicador; de acordo com Gaudette et al. (1974).

Nitrogênio orgânico – 0,5g da amostra foi digerida em presença de 3ml de H₂SO₄ concentrado segundo Kjeldahl, seguida do arraste de amônia, em presença de peróxido de hidrogênio 30%, e dosagem espectrofotométrica com o reativo de Nessler; aparelho: espectrofotômetro marca HACH, modelo DR – 2010, na região do visível em $\lambda = 460$ nm.

Fósforo orgânico – 0,5g da amostra foram tratadas com 50ml de HCl 1N, durante 24 horas; em seguida foi centrifugada e o sobrenadante foi desprezado; e o resíduo foi tratado com 5ml de peróxido de hidrogênio a 30% a uma temperatura de 80° a 85°C por 2 horas, depois adicionou-se 50ml de HCl 1N e efetuou-se a leitura no espectrofotômetro; aparelhos: centrifuga marca FANEM, modelo 215, espectrofotômetro marca BECKMAN, modelo DU- 6, na região do visível em $\lambda = 830$ nm, segundo Ramirez & Rose (1992).

Matéria orgânica – calculada através da multiplicação do resultado do carbono orgânico por 1,724. Este fator é utilizado em virtude de se admitir que, na composição média do húmus, o carbono participa com 58%, segundo EMBRAPA (1997a).

Identificação do material húmico bruto – obtenção de espectros de absorção no infravermelho; a amostra seca a 110°C foi misturada em KBr e prensada, registrando o espectro no intervalo de 4000-400 cm^{-1} – equipamento Perkin-Elmer, modelo FT1760X. Identificação segundo Olphen & Fripiat (1979).

Potencial hidrogeniônico (pH) – método potenciométrico, por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido (1:2,5) em água e KCl, segundo EMBRAPA (1997a).

Condutividade elétrica – utilizou-se condutivímetro imerso em suspensão solo:líquido (1:2,5), segundo CETESB (1978b).

Capacidade de troca catiônica – pelo tratamento da amostra com soluções salinas de amônio e cálcio e soluções ácidas diluídas; posteriormente determinados por métodos volumétricos e absorção atômica, segundo EMBRAPA (1997a).

3.3.1.2 Análise mineralógica em sedimentos

A caracterização mineralógica das amostras foi realizada através de lâminas orientadas que foram submetidas à difração de raio-x segundo Reynolds & Moore (1991). O aparelho utilizado na análise foi o goniômetro tipo Philips PW 1050 com monocromador de grafite e tubo anodo de cobre.

Para uma melhor identificação dos argilominerais, as amostras foram tratadas com etilenoglicol por 24 horas, e submetidas à difração de raio-x. Após a glicolização, as amostras foram aquecidas a 500°C por 3 horas e novamente submetidas à difração.

3.3.2- Análises em águas

Os trabalhos de laboratório compreenderam todas as análises de parâmetros físicos, físico-químicos e químicos.

Potencial hidrogeniônico – pH – utilizou-se potenciômetro WTW. Segundo CETESB (1978b).

Condutividade elétrica – utilizou-se condutivímetro marca ORION, modelo 115 plus. Segundo CETESB (1978b).

Turbidez – utilizou-se turbidímetro marca HACH, modelo 2100P. Segundo CETESB (1978b).

Cor – utilizou-se espectrofotômetro marca HACH, modelo DR-2010.

Material particulado em suspensão (MSP) – por gravimetria, pela qual uma porção homogênea de amostra de 100mL foi filtrada a vácuo em filtro Millipore 0,45 μ m e o material retido foi seco em estufa a 80°C.

Carbono orgânico – pela oxidação da matéria orgânica pelo permanganato (KMnO₄) em meio ácido (APHA, AWWA, WPCF, 1976).

P₂O₅ total – espectrofotometria na região do visível, pela redução do molibdato em meio ácido – aparelho: espectrofotômetro marca ZEISS, modelo PM-6, na região do visível em $\lambda = 650\text{nm}$, segundo Riley (1958).

SiO₂ – espectrofotometria de absorção molecular, por colorimetria em meio ácido, reagindo com o molibdato de amônia formando um complexo amarelo; aparelho: espectrofotômetro marca ZEISS, modelo PM-6, na região do visível em $\lambda = 660\text{nm}$, segundo Riley (1958)

Identificação de material húmico – obtenção de espectros de absorção no infravermelho; filtrou-se a amostra de água em Millipore 0,45 μ m, em seguida prensou-se o resíduo em KBr, registrando o espectro no intervalo de 4000-400 cm^{-1} – equipamento Perkin-Elmer, modelo FT 1760X. Identificação segundo Marel & Beutelspacher (1976).

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - RESULTADOS ANALÍTICOS DAS ÁGUAS DA ÁREA DE ESTUDO

Espera-se, que as águas estuarinas, que são misturas de águas fluviais com oceânicas, produzam processos físicos, físico-químicos, químicos, geoquímicos, envolvendo nutrientes orgânicos e inorgânicos presentes no material solúvel e em suspensão. Cabe, portanto, uma análise de suas características visando prováveis interrelações geoquímicas.

A Tabela 3 indica os resultados analíticos das águas da área de estudo.

Os valores de pH variaram de 8,33 a 8,55 para o período de estiagem e de 6,99 a 7,06 para o período chuvoso o que significa uma maior influência das águas fluviais no período chuvoso.

Tabela 3: Parâmetros físicos, físico-químicos e químicos de águas estuarinas (baía de Inajá, São João de Pirabas NE Pará)

Parâmetros	Período de estiagem (2000)	Período chuvoso (2001)
pH	8,33 a 8,55	6,99 a 7,06
Turbidez (UNT)	19 a 72	12 a 150
Cor (UC)	4 a 6	6 a 60
Cond. elét. ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	49.100 a 50.000	24.200 a 33.900
Mat. org. oxid. (mg de C /L)	1,6 a 2,06	1,5 a 3,4
OD (mg de O_2 /L)	4 a 6	4 a 5
PO_4^{3-} (mg de PO_4^{3-} /L)	0,04 a 1,46	0,01 a 0,04
SiO_2 (mg de SiO_2 /L)	0,38 a 0,79	0,88 a 1,63
MPS (mg/L)	58,6 a 155,4	69 a 178

OBS. (1) Cond. elét. (condutividade elétrica); (2) MPS (material particulado em suspensão); (3) Mat. org. oxid. (matéria orgânica oxidada pelo permanganato); (4) OD (oxigênio dissolvido).

A coloração das águas pode estar associada à presença de sólidos em suspensão e de partículas coloidais ou com material dissolvido orgânico (Tchobanoglous & Shroeder, 1985). Os valores obtidos para cor estão entre 4 e 6 U.C., durante o período de estiagem e de 4 a 60 U.C. no período chuvoso, esse aumento mostra a incorporação às águas de material lixiviado do mangue.

Como também seria de se esperar, a turbidez e o material particulado em suspensão (MPS) apresentaram valores mais elevados no período mais chuvoso, atingindo máximos em 150UNT (turbidez) e 178mg/litro (MPS). Com efeito, os sedimentos do manguezal influenciam diretamente na turbidez e na concentração de material particulado em suspensão; porém é no inverno que talvez seja mais pronunciado o aporte de material transportado pelas drenagens continentais para o estuário.

O ambiente aquático da baía de Inajá apresenta-se bem aerado, podendo chegar a valores em termos de 6mg de O₂/ litro. Nessa área fisiográfica os ventos são constantes e a dinâmica das marés (macromarés) propicia boa aeração das águas. Entretanto, a turbidez e o material particulado em suspensão influenciam para a diminuição do teor de oxigênio dissolvido nessas águas estuarinas, sendo mais constantes os valores em torno de 4mg de O₂/ litro.

A condutividade elétrica apresentou valores entre 49.100 e 50.000 $\mu\text{s.cm}^{-1}$, durante a estiagem e de 24.200 a 33.900 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ no período chuvoso; tais resultados mostram uma forte influência de águas oceânicas, ricas em eletrólitos fortes, principalmente no período de estiagem.

A avaliação da matéria orgânica oxidada pelo permanganato em meio ácido, embora apresentasse teores algo expressivos na estiagem (máximo observado em 2,06mg de C/ litro), foi, no entanto, como seria previsível, no período chuvoso que se registrou valores mais elevados (máximo em 3,4mg de C/litro). Esses resultados se encontram compatíveis com dados obtidos por Schwendenmann (1998), Dittmar (1999), Menezes & Lima (1999) e Menezes (1999). Enquanto Menezes & Lima (1999) e Menezes (1999) registraram teores máximos de carbono orgânico da ordem de 15,8mg de KMnO₄/litro (equivalente estequiométrico de 1,5mg de C/ litro) na foz do Arapepó, os outros pesquisadores observaram teores máximos de carbono orgânico dissolvido em

600 μ moles/ litro (Dittmar, no “furo” do Meio, no manguezal de Bragança) e 3600 μ moles/ litro (Schwendenmann, no “furo” do Chato, também no manguezal de Bragança). Com efeito, fazendo a conversão estequiométrica de 3,4mg de C/ litro supracitada obtém-se 3400 μ moles/ litro para as águas estuarinas da baía de Inajá.

Os valores encontrados para o silicato total variaram entre 0,38 a 0,79 mg de SiO₂ /L no período de estiagem e de 0,88 a 1,63 mg de SiO₂ /L no período chuvoso; esses resultados mostram que durante o período chuvoso ocorre uma “lavagem” do solo localizado às margens dessas águas e de rochas que afloram durante a maré baixa fazendo o arraste de vários componentes entre os quais o silicato (solúvel e coloidal) proveniente do intemperismo químico (Drever, 1988).

As concentrações de fosfato ficaram em torno de 0,04 a 1,46 mg de PO₄³⁻/L durante a estiagem e de 0,01 a 0,04 mg de PO₄³⁻/L durante o período chuvoso; o valor elevado durante a estiagem, no meio da baía de Inajá, onde estão localizados alguns “currais” (armadilhas para captura de peixes), parece indicar certa influência de nutrientes no local.

4.2 - RESULTADOS ANALÍTICOS DOS SEDIMENTOS DE MANGUEZAL E DE MATERIAL GEOLÓGICO ASSOCIADO OCORRENTES NA ILHA DE ITARANA

4.2.1 – Composição química e mineralogia

4.2.1.1- Análises químicas

A Tabela 4 consiste em um quadro esquemático mostrando a composição química das dez amostras (todas expressas na forma de óxido) e estão representados em percentuais.

A sílica variou de 3,7% a 94,35%, o que é coerente, pois o índice mínimo está relacionado às amostras de calcário da Formação Pirabas e o índice máximo está relacionado às amostras de material arenoso (arenito Pilões).

O alumínio obteve valores entre 0,60 e 12,48%, onde o mínimo está associado as amostras de calcário da Formação Pirabas e o máximo está ligado ao Grupo

Barreiras que apresentou a caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) como um dos minerais predominantes. Valores expressivos de alumínio encontrados em duas amostras de arenito Pilões (AP1 e AP2) na ordem de 7,84% e 6,21%, respectivamente, e uma amostra associada à Formação Pirabas (PR1) com 10,35%, são também decorrentes da presença de caulinita.

O ferro exibiu valores entre 0,05% e 13,40%, encontrando-se o mínimo ligado ao material arenoso e o máximo ligado ao material do Grupo Barreiras, onde identificou-se a hematita (Fe_2O_3) como um dos minerais predominantes. Em duas amostras relacionadas à Formação Pirabas (PR2 e PR3) obteve-se valores expressivos de ferro na ordem de 4,17% e 3,80% respectivamente, decorrente da presença de ankerita ($\text{CaCO}_3 \cdot (\text{Fe}, \text{Mg})\text{CO}_3$) encontrada nas mesmas.

A quantificação do fósforo exibiu valores entre 0,002% e 0,041%, onde o valor máximo está ligado a amostra de calcário coletada na baía de Inajá, que apresenta “currais”(armadilhas de peixes) e também está coerente com os resultados nas águas dessa baía, que apresentou índices elevados de fósforo.

Tabela 4 : Composição química centesimal da matriz inorgânica de dez amostras de sedimento (%).

Amostras	AP1	AP2	AP3	FG1	FG2	MA1	BR1	PR1	PR2	PR3
SiO ₂	79,31	86,23	83,34	94,35	84,95	84,41	62,88	17,08	6,0	3,70
Al ₂ O ₃	7,84	6,21	1,78	0,86	1,73	5,0	12,48	10,35	0,60	0,63
Fe ₂ O ₃	0,91	0,45	0,33	0,20	0,05	2,15	13,40	0,71	4,17	3,80
P ₂ O ₅	0,006	0,005	0,008	0,003	0,002	0,009	0,004	0,02	0,034	0,041
CaO	0,03	0,03	0,07	0,09	0,36	0,09	2,74	37,48	40,96	47,02
Na ₂ O	0,73	0,21	0,95	0,45	0,29	0,70	0,07	0,28	0,19	0,17
K ₂ O	0,09	0,05	0,05	0,02	0,03	0,61	0,45	0,11	0,16	0,14
MgO	0,12	0,16	0,18	0,06	0,41	0,48	0,29	0,64	10,61	5,29
MnO	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,02	0,01	0,08	0,09	0,08
TiO ₂	n.d	0,17	0,28	n.d	n.d	0,40	0,9	n.d	0,04	n.d
P.F.	10,25	5,76	12,74	4,45	11,59	5,17	7,35	31,33	38,13	38,30
Soma	99,28	99,27	99,72	100,4	99,41	99,03	100,5	98,08	100,9	99,21
H ₂ O ⁻	6,07	2,57	6,63	4,82	3,50	4,30	0,80	2,41	0,37	0,35

OBS: (1) os resultados de umidade não participaram da somatória; (2) P.F. (perda ao fogo por calcinação).

AP – arenito Pilões (fácies Areia de Cordões Praiais)

FG – Furo Grande (fácies Areia de Cordões Praiais)

MA – Mangue alto (fácies Areia Marinha)

BR – Grupo Barreiras (fácies Areno-Argilosa)

PR1 – Formação Pirabas (fácies Areno-Argilosa)

PR2 e PR3 – Formação Pirabas (fácies Sedimentos Carbonáticos)

n.d: não detectado pelo método aplicado.

O cálcio variou de 0,03% a 47,02%, onde o valor mínimo foi encontrado nas amostras de material arenoso e o valor máximo encontrado nas amostras de calcário da Formação Pirabas. Observou-se que o magnésio obteve valores entre 0,05% e 10,61%, ressaltando-se que o mínimo encontra-se em amostras de material arenoso e os teores mais expressivos em amostras de calcário da Formação Pirabas. Com efeito, o calcário da Formação Pirabas é rico em calcita (CaCO₃), podendo apresentar a dolomita (CaCO₃.MgCO₃) como mineral de carbonato subordinado (Almaraz, 1979; Otobo, 1995)

O sódio obteve valores entre 0,07% e 0,95%. O valor mínimo foi encontrado nas amostras do Grupo Barreiras e o valor máximo encontrado nas amostras de material arenoso. O potássio variou de 0,02% a 0,61%, encontrando-se o mínimo associado ao material arenoso e o máximo relacionado ao material lamoso, onde identificou-se a illita como um dos minerais predominantes.

O manganês apresentou valores de 0,01% para amostra relacionada ao Grupo Barreiras, e o máximo de 0,09% para amostra associada a Formação Pirabas. Os muitos baixos teores de Mn, acaso existentes, nas amostras de arenito Pilões e no “furo” Grande (não detectadas, aliás) podem ser explicados pelas reações de diagênese da matéria orgânica (ver equação química representativa à página 32).

A determinação de titânio indica quantidades entre 0,04% detectados no material ligado a Formação Pirabas e 0,9% encontrado no material ligado ao Grupo Barreiras; não se detectou minerais de titânio nessas amostras. A presença de titânio nesse material coletado pode estar associado à ocorrência de colóides e/ou aprisionamento do metal na estrutura cristalina de argilominerais (Weaver & Pollard, 1973).

Os percentuais de P.F. relacionados com as amostras de arenito Pilões (AP1, AP2 e AP3), de “furo” Grande (FG1 e FG2), mangue alto (MA1) e sedimento alterado do Barreiras (BR1) estão diretamente associados à água de constituição de argilominerais presentes nessas amostras. Os percentuais relacionados com as amostras de sedimento Pirabas (PR1, PR2 e PR3) mostram que tanto dizem respeito à água de constituição quanto à perda de gás carbônico.

4.2.1.2 – Análises difratométricas de raios-X

A interpretação da difração de raios-X foi feita com base em difratogramas de lâminas normais (amostra bruta) e de lâminas orientadas (frações mais finas), lâminas glicoladas (tratadas com etileno-glicol) e lâminas aquecidas em forno mufla a 500° C por 2 horas.

Nas amostras AP1, AP2, AP3, FG1 e FG2 efetuou-se a eliminação da matéria orgânica, porém não foi possível a identificação dos argilominerais, pois seus

difratogramas apresentaram-se irregulares, pode-se observar que há presença de sílica não-cristalina não detectada pela difração de raios-X.

A Figura 15 é representativa do difratograma da amostra MA1 (mangue alto). Os principais argilominerálias identificados foram caulinita (com picos em $7,13 \text{ A}^\circ$ e $4,46 \text{ A}^\circ$), illita (com picos em $9,97$ e $4,99 \text{ A}^\circ$) e a esmectita (com picos em $15, 17, 5,7 \text{ A}^\circ$) como mineral subordinado.

A Figura 16 é indicativa do difratograma da amostra BR1 (sedimento coletado na exposição do Barreiras), onde foram identificados a caulinita (com picos em $7,2$ e $3,59 \text{ A}^\circ$) e a illita como minerais dominantes, aparecendo ainda o quartzo (com picos em $4,26-3,34-2,13 \text{ A}^\circ$) e a hematita (com pico em $2,71 \text{ A}^\circ$).

A Figura 17 diz respeito ao difratograma da amostra PR1 (sedimento Pirabas pertencente a fácies areno-argilosa), onde a calcita (com picos em $3,84-3,03-2,84-2,10-1,91 \text{ A}^\circ$) predomina, tendo a caulinita (com picos em $7,3-7,6-4,45-4,47-3,61-3,72 \text{ A}^\circ$) como subordinada. Talvez ocorrências de dolomita e/ou ankerita (com pico em $2,20-2,02-1,82 \text{ A}^\circ$) estejam presentes (teores muito baixos de MgO e Fe_2O_3 nessa amostra).

As Figuras 18 e 19 estão relacionadas com os difratogramas das amostras PR2 e PR3 (fácies sedimentos carbonáticos). Aí domina a calcita (com picos em $3,84-3,03-2,84-2,10-1,91 \text{ A}^\circ$) aparecendo ainda a caulinita e o quartzo. Também foi identificada a ocorrência de ankerita, $\text{CaCO}_3 \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})\text{CO}_3$ (com picos em $2,21-2,03-1,82 \text{ A}^\circ$). Os resultados analíticos para o MgO ($10,61\%$ e $5,29\%$) sugerem ainda a presença de dolomita.

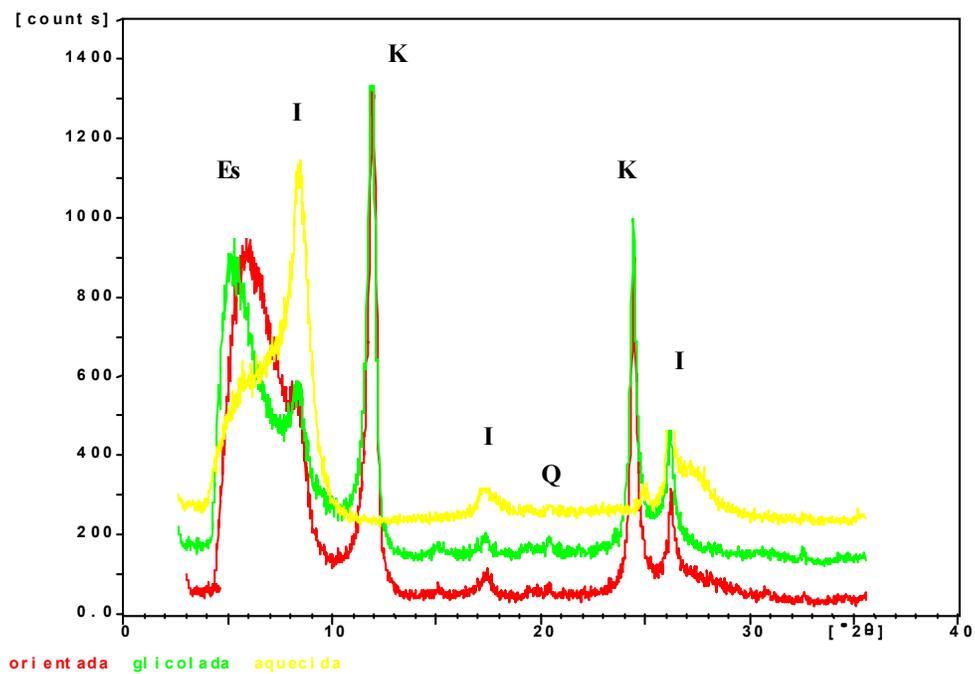


FIGURA 15: Difratograma da análise por difração de raios-X da amostra MA1 (fácies Areia de Cordões Praiais).

Es: esmectita

I: ilita

K: caulinita

Q: quartzo

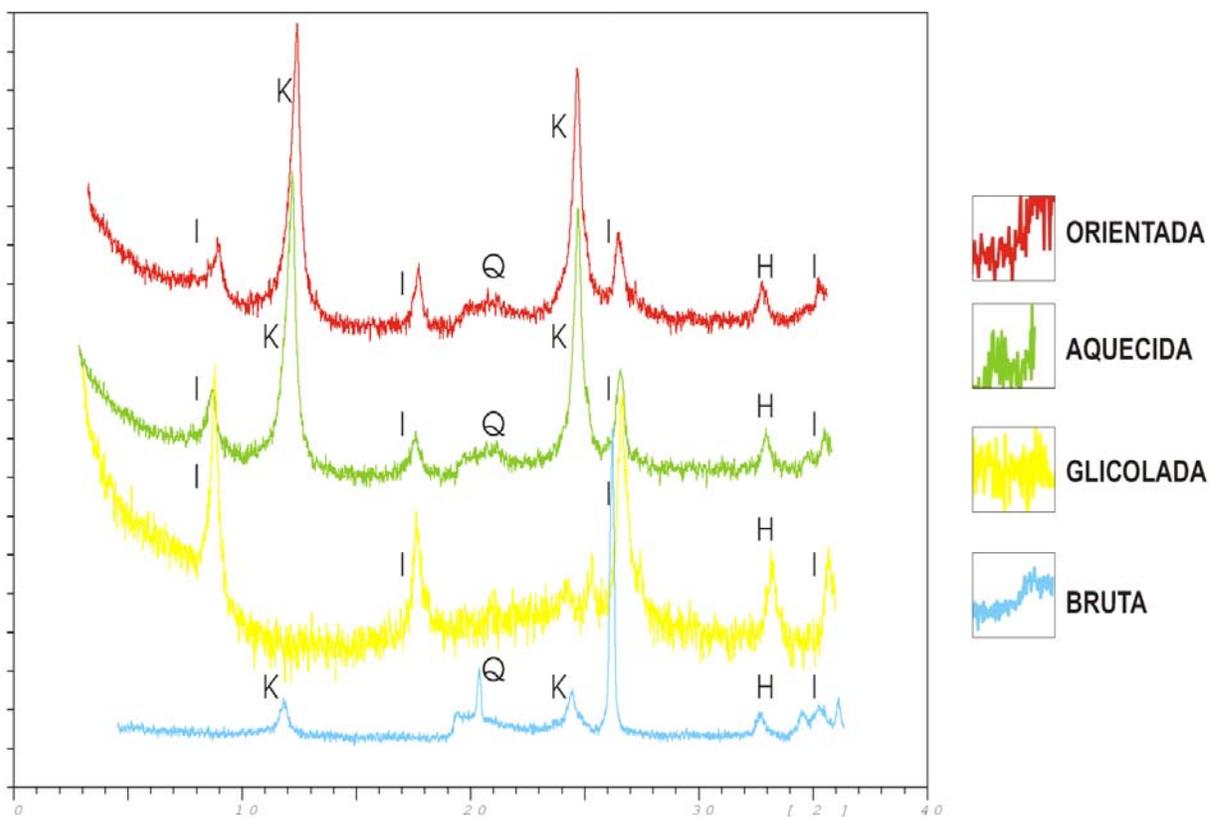


FIGURA 16: Difratograma da análise por difração de raios-X da amostra BR1 (fácies Arenoso-Argilosa).

I: illita

K: caulinita

H: hematita

Q: quartzo

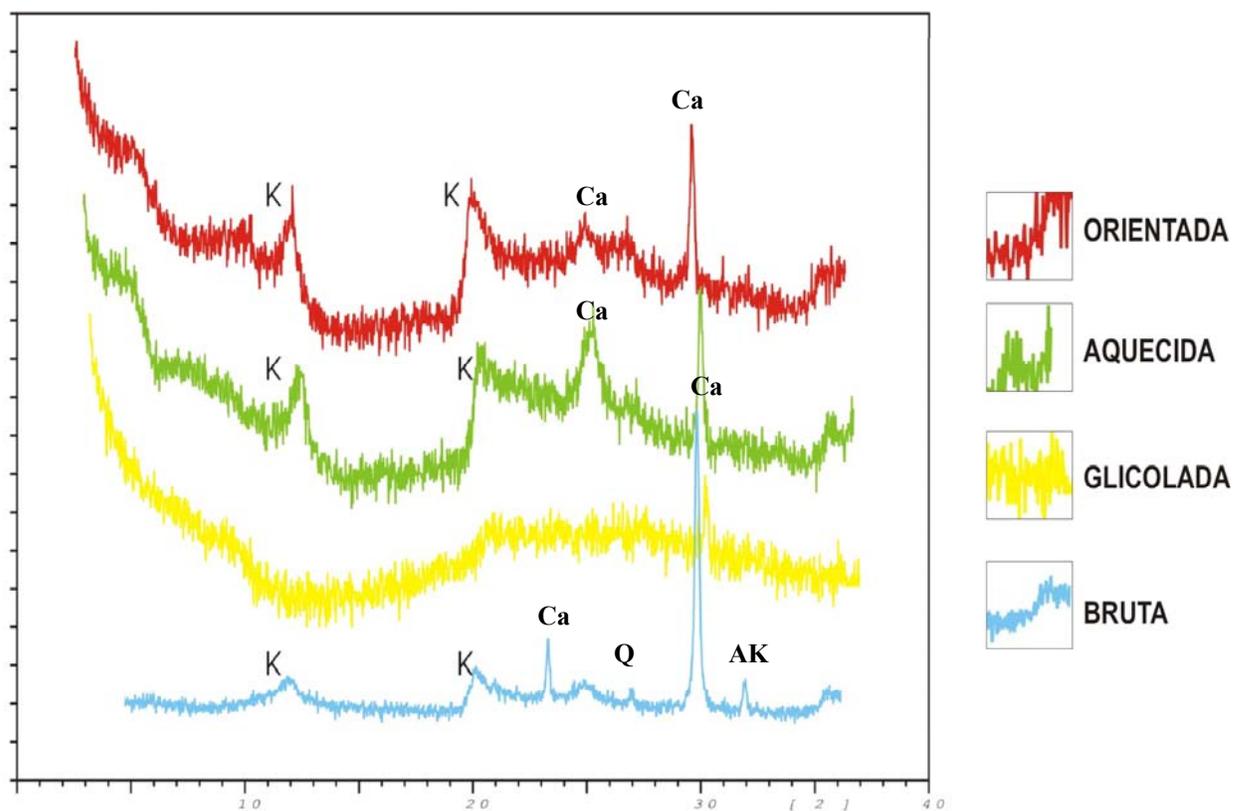


FIGURA 17: Difratoograma da análise por difração de raios-X da amostra PR1(fácies Arenoso-Argilosa).

Ca: calcita

K: caulinita

Q: quartzo

Ak: ankerita

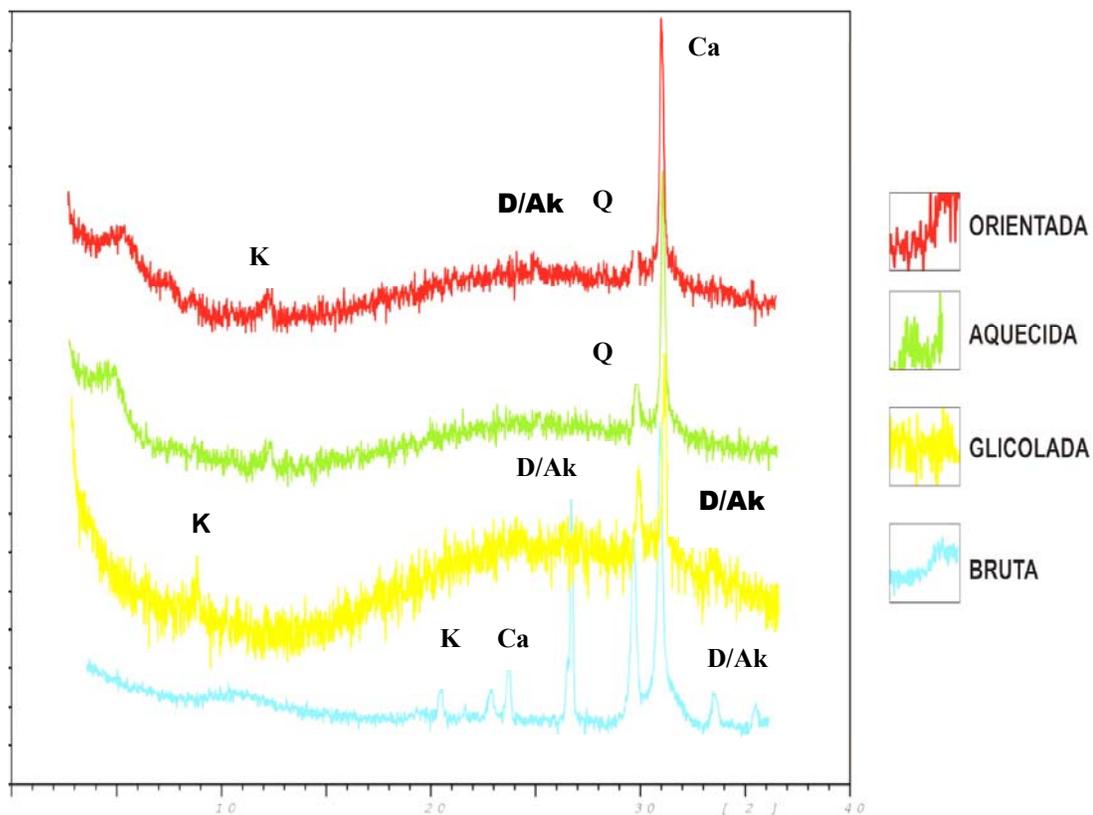


Figura 18: Difratoograma da análise de difração de raios-X da amostra PR2 (fácies Sedimentos Carbonáticos).

Ca: calcita

K: caulinita

Q: quartzo

D: dolomita

Ak: ankerita

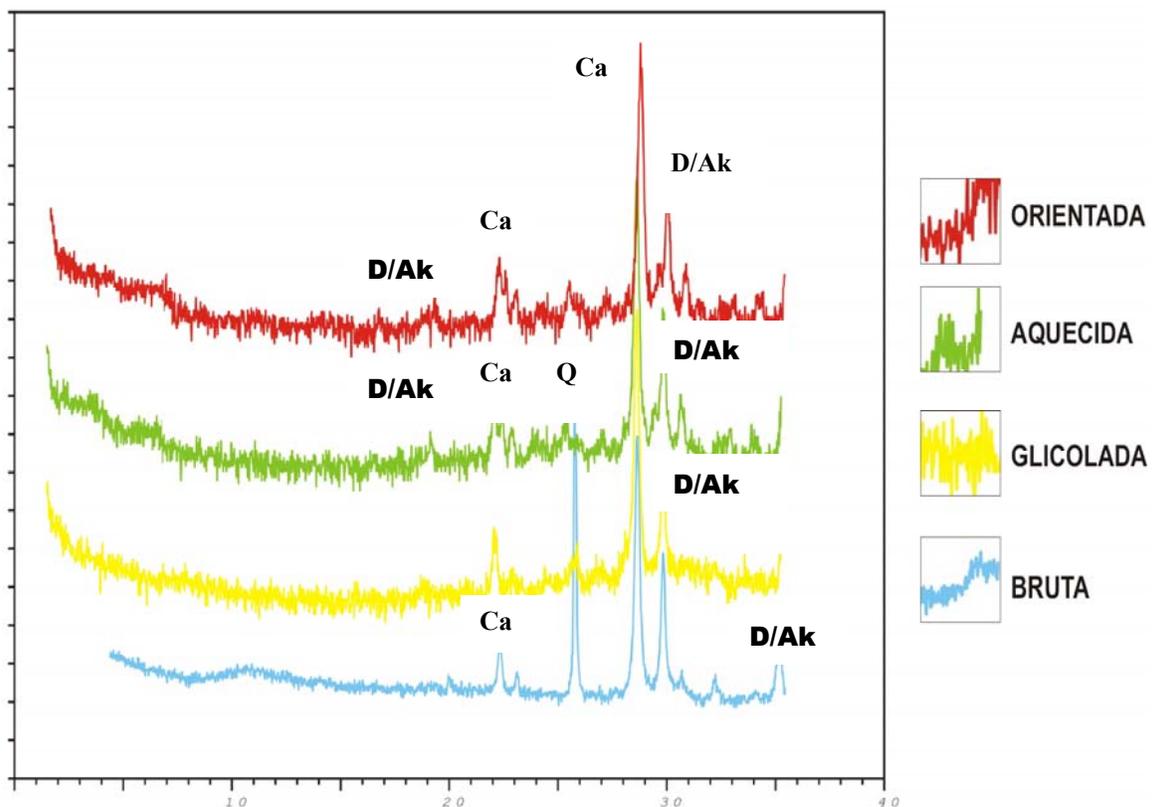


Figura 19: Difratoograma da análise por difração de raios-X da amostra PR3 (fácies Sedimentos Carbonáticos).

Ca: calcita

Q: quartzo

D: dolomita

Ak: ankerita

4.2.1.3- Tentativas de quantificação dos minerais através de cálculo estequiométrico

Através dos cálculos estequiométricos é possível fazer tentativas de quantificação dos minerais existentes nas amostras se existir interrelações entre constituintes químicos e a fórmula química do mineral. Selecionou-se 5 amostras para tais cálculos. A Tabela 5 mostra os percentuais mineralógicos obtidos através de estequiometria a partir das análises de difração de raios-X e química.

Para efetuar os cálculos estequiométricos, utilizou-se as seguintes fórmulas: para caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), ankerita ($\text{CaCO}_3 \cdot (\text{Fe}, \text{Mg})\text{CO}_3$) e hematita (Fe_2O_3), segundo Grim (1968). Para ilita ($\text{K}_{0,53}\text{Ca}_{0,03}\text{Mg}_{0,39}\text{Fe}_{0,58}\text{Al}_{1,19}\text{Si}_{3,38}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) e esmectita ($\text{Na}_{0,42}\text{Ca}_{0,06}\text{F}_{0,19}\text{Mg}_{0,45}\text{Al}_{1,61}\text{Si}_{3,85}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), segundo Weaver & Pollard (1973).

Considerou-se para efeito de cálculo que os teores de potássio estão totalmente associado à ilita. É de se esperar pequenas compensações nos percentuais envolvendo ilita e interestratificados. Considerou-se os teores de K_2O associados à ilita quando presente no difratograma (no entanto, o teor mais expressivo de CaO na amostra BR1, do sedimento Barreiras, serviu de base para o cálculo do percentual de ilita, compatível com o teor de K_2O).

A difração de raios-X revelou a presença de ankerita, $\text{CaCO}_3 \cdot (\text{Fe}, \text{Mg})\text{CO}_3$, sendo algo expressivos os percentuais de Fe_2O_3 e MgO (amostras PR2 e PR3). Quanto à dolomita, é possível que as amostras PR2 e PR3 sejam misturas naturais resultantes das interações mineralógicas entre sedimento Barreiras (rico em Fe) e Pirabas (contendo teores mais significativos de Mg oriundo do calcário dolomítico).

Tabela 5 : Composição mineralógica das amostras (%).

Compo- nentes	AP1	AP2	AP3	FG1	FG2	MA1	BR1	PR1	PR2	PR3
Caulinita	19,83	15,71	4,50	2,18	3,05	5,97	23,09	25,88	1,09	1,14
Ilita	n.d	n.d	n.d	n.d	3,94	19,91	25,26	0,90	1,31	1,21
Interest. (1)	2,60	1,80	2,15	0,33	1,54	1,52	-	-	-	-
SiO ₂ (2)	70,09	78,92	81,24	93,35	80,51	69,19	36,35	4,48	4,67	2,43
H ₂ O ⁺ (3)	7,48	3,57	12,11	4,14	10,96	3,41	2,95	-	-	-
Hematita	-	-	-	-	-	-	13,49	-	-	-
Calcita	-	-	-	-	-	-	-	66,93	62,71	74,46
Ankerita	-	-	-	-	-	-	-	3,50	20,85	19,0
Dolomita	-	-	-	-	-	-	-	-	9,37	1,76
Soma	100	100	100	100	100	100	101,14	101,69	100	100

OBS. (1) Argilominerais interestratificados (principalmente esmectita) contendo Ca, Mg, Fe, Na e K. Percentual calculado por diferença. (2) Sílica (principalmente quartzo nas amostras onde o mineral foi identificado por difração de raios-X); na maioria dos casos, corresponde à sílica não-cristalina não-detectada pela difração. Quantitativamente, corresponde à diferença entre o teor de SiO₂ oriundo da análise química e os percentuais de SiO₂ presentes estequiometricamente nos argilominerais. (3) Água de constituição (oriunda de argilominerais e de colóides de SiO₂, predominantemente). Trata-se, quantitativamente, do restante de H₂O que é deduzido do percentual resultante da análise química.

É fato bem conhecido que no calcário de Pirabas a calcita (mineral predominante) aparece com baixos teores de Mg e que a dolomita também se encontra presente, podendo chegar a teores algo mais expressivos (Almaraz, 1979; Truckenbrodt, 1981; Otobo & Lima, 1994; Otobo, 1995).

A presença da ankerita, intimamente associada com a calcita e a dolomita, se encontra em conformidade com as observações de campo e com o estudo faciológico de Silva Júnior (1998), no que diz respeito ao fato de que esses manguezais (de

Itarana, no presente estudo) são suportados pelos sedimentos Barreiras (predominantemente) e Pirabas (fácies Sedimentos Carbonáticos) de Silva Júnior, (1998).

Por sua vez, os resultados analíticos para as amostra MA1 (coletada em mangue alto, fácies Areia Marinha) e BR1 (sedimento alterado do Barreiras) confirma essa interação, envolvendo sedimentos de mangue e Barreiras.

4.2.2- Identificação de material húmico bruto nos sedimentos selecionados

4.3.2.1- Espectros de absorção na região do infravermelho

Métodos de infravermelho têm proporcionado valiosas informações na natureza e arranjos de grupos funcionais em ácidos húmicos (Stevenson & Butler, 1970).

Os espectros de absorção na região do infravermelho de ácidos húmicos e fúlvicos, de diferentes origens, são semelhantes porém não são idênticos. Uma notável característica desses espectros da absorção é o registro de bandas nítidas (mais ou menos largas, médias) devida ao estiramento da ligação C=O de vários grupos funcionais orgânicos (ácidos carboxílicos e seus derivados, aldeídos e cetonas) às proximidades de 1720 cm^{-1} ; o deslocamento dessa banda para regiões menos energéticas (às proximidades de $1630\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$) indica a presença de carboxilato e/ou de complexação por metais como Fe e o Al (Stevenson, 1982; Aiken et al., 1985). A tabela 6 apresenta algumas bandas características de substâncias húmicas.

Tabela 6 – Principais regiões de bandas de absorção dos espectros de infravermelho de substâncias húmicas e suas atribuições.

Número de onda (cm^{-1})	Atribuições
3500 – 3200	estiramento OH devido a água de constituição
3000 – 2850	estiramento assimétrico C-H de alifáticos
1725 – 1800	estiramento C=O de grupos carboxílicos e derivados
1650 – 1620	estiramento C=C de anel aromático; estiramento C=O de amidas ou cetonas conjugadas e estiramento assimétrico de íons COO^-
~ 1547	deformação angular N-H de amidas (amida II)
1400 – 1380	deformação angular OH e estiramento C-O de fenóis; deformação angular C-H de grupos CH_2 , CH_3 e estiramento simétrico de íon COO^-
1320 - 1200	Estiramento C-O de COOH e deformação O-H de COOH

Fonte: Stevenson (1982); Poppi & Talamoni (1992)

Foram selecionadas para essa análise 5 amostras, sendo 4 de sedimentos e 1 de extrato aquoso(EA2) coletado em pequenos lagos de água pluvial, acumulada no período chuvoso, onde a percolação dessas águas transporta (provavelmente) material húmico do solo e do perfil podzólico, que circundam e estão adjacentes e subjacentes aos lagos. Os espectros de absorção na região do infravermelho material húmico bruto estão apresentados nas Figura 20 e 21.

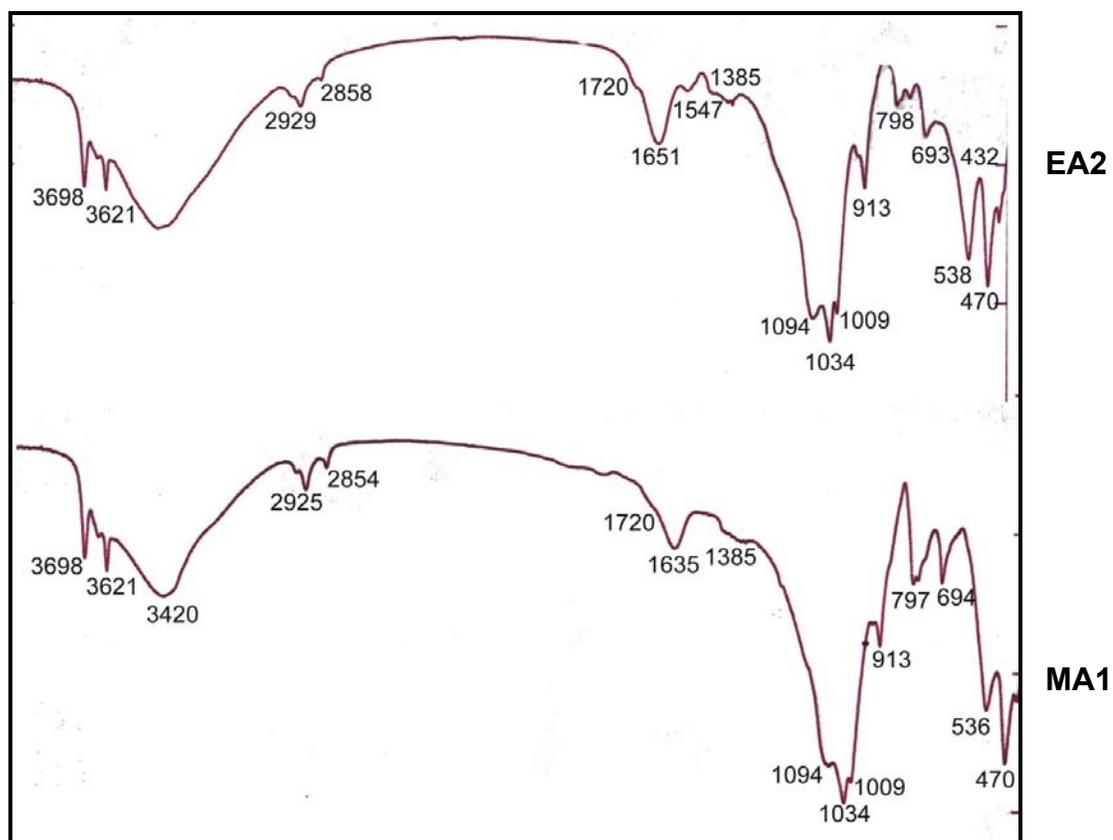


Figura 20: Espectros de absorção na região do infravermelho das amostra EA2 (extrato aquoso) e MA1 (mangue alto).

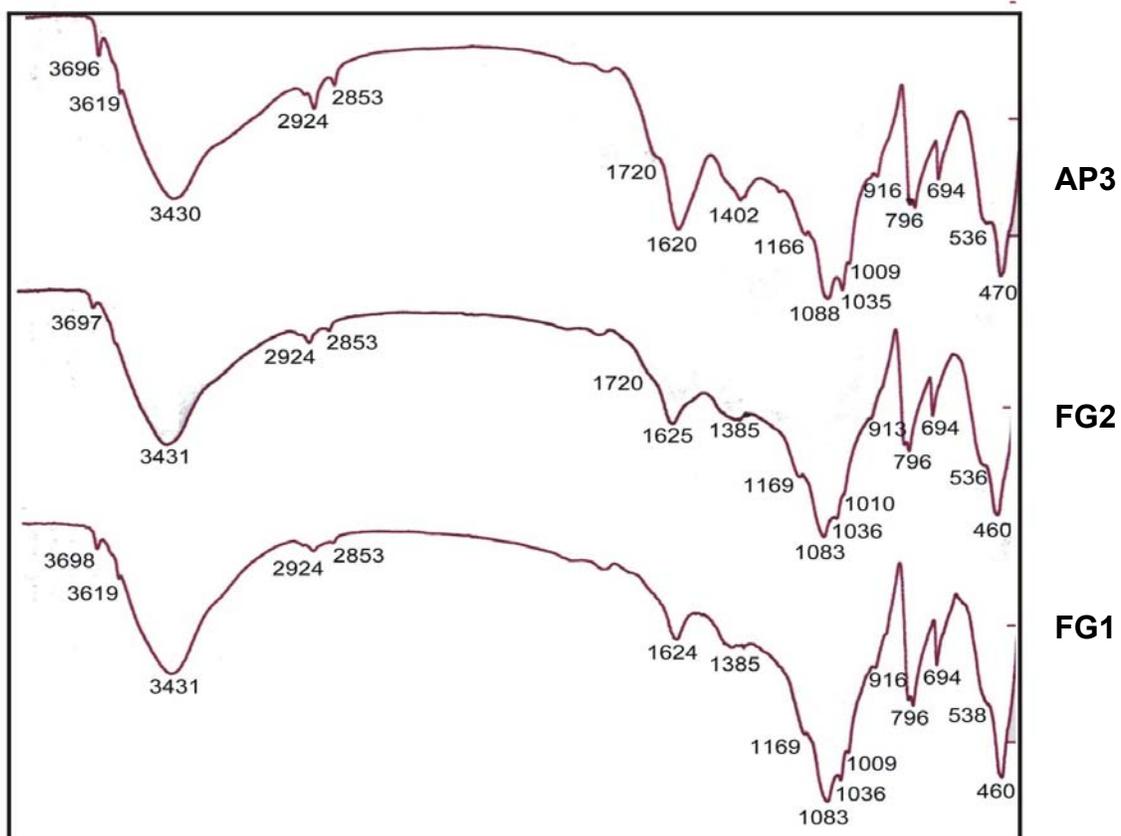


Figura 21: Espectros de absorção na região do infravermelho das amostras AP3 (arenito pilões), FG2 (“furo” Grande) e FG1 (“furo” Grande).

A presença de bandas nítidas em 3698, 3621 e 3420 cm^{-1} (MA1), 3697 e 3431 cm^{-1} (FG2), 3698, 3619 e 3431 cm^{-1} (FG1), 3696, 3619 e 3430 cm^{-1} (AP3) e 3698, 3621 e 3436 cm^{-1} (extrato aquoso) é devido o estiramento O-H dos grupos hidrofílicos; em alguns casos, grupos N-H podem contribuir para absorção nessas regiões. As bandas nítidas em 2925 e 2854 cm^{-1} (MA1), 2924 e 2853 cm^{-1} (FG1), 2924 e 2853 cm^{-1} (FG2), 2924 e 2853 cm^{-1} (AP3) e 2929 e 2858 cm^{-1} (EA2), foram atribuídas aos grupamentos metileno, CH_2 - (Stevenson & Goh, 1971).

Uma banda em 1720 cm^{-1} nas amostras MA1, FG2, AP3 e extrato aquoso, foi atribuída ao estiramento da ligação C=O de grupos carboxílicos, essas bandas normalmente estão presentes nos espectros de ácidos fúlvicos; em 1635 cm^{-1} (MA1), 1624 cm^{-1} (FG1), 1625 cm^{-1} (FG2), 1620 cm^{-1} (AP3) e 1651 cm^{-1} (EA2), são consideradas bandas fracas e atribuídas à presença de carboxilatos e/ou de complexação de metais como Fe e Al; as outras bandas em 1094, 1034, 1009, 913, 797, 779, 694, 536, 470 e 428 cm^{-1} (MA1), 1083, 1036, 1009, 916, 796, 779, 694, 538 e 460 cm^{-1} (FG1), 1083, 1036, 1010, 913, 796, 779, 694, 536 e 460 cm^{-1} (FG2), 1088, 1035, 1009, 916, 796, 779, 694, 536 e 470 cm^{-1} (AP3) e 1094, 1034, 1009, 913, 798, 754, 693, 538, 470 e 432 cm^{-1} (EA2) estão relacionadas principalmente com as ligações Si-O e Al-OH (Stevenson & Goh, 1971).

Deste modo, a interpretação mais imediata desses espectros leva à conclusão sobre a ocorrência de material húmico seja nas águas (talvez mais recentes) ou nos sedimentos. Tratando-se de material mais refratário, essas substâncias húmicas podem agregar-se aos sedimentos geológicos e promover a sedimentação e cimentação necessária à formação das fácies, principalmente no material carbonoso coletado no “furo” Grande (15,29% de matéria orgânica) e no material coletado no arenito de Pilões (9,62% de matéria orgânica).

4.2.2.2- Análise de carbono orgânico, nitrogênio orgânico, fósforo orgânico e quantificação da matéria orgânica

Os resultados encontrados para o carbono orgânico, nitrogênio orgânico, fósforo orgânico, matéria orgânica e suas razões (C/N, C/P e N/P), estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados analíticos dos componentes orgânicos nos sedimentos coletados

Amostras	C _{org} (%)	N _{org} (%)	P _{org} (%)	C/N	C/P	N/P	M.O.(%)
AP1	1,60	0,06	0,0015	26,27	1032,0	40,00	2,76
AP2	1,37	0,03	n.d	45,67	n.d	n.d	2,36
AP3	5,58	0,11	n.d	50,72	n.d	n.d	9,62
FG1	1,92	0,03	n.d	64,0	n.d	n.d	3,31
FG2	8,87	0,07	n.d	126,71	n.d	n.d	15,3
MA1	1,87	0,06	0,0021	31,16	869,76	27,90	3,22
PR1	0,41	0,07	0,0041	5,85	100,73	17,20	0,70
PR2	0,88	0,09	0,0043	9,22	205,9	21,07	1,52
PR3	0,81	0,08	0,004	10,37	207,69	20,20	1,40
BR1	0,14	0,08	0,0009	1,75	145,68	83,33	0,24

OBS. (1) n.d. (não identificado pelo método)

AP – arenito Pilões (fácies Areia de Cordões Praiais)

FG – “furo” Grande (fácies Areia de Cordões Praiais)

MA – Mangue alto (fácies Areia Marinha)

BR – Grupo Barreiras (fácies Areno-Argilosa)

PR1 – Formação Pirabas (fácies Areno-Argilosa)

PR2 e PR3 – Formação Pirabas (fácies Sedimentos Carbonáticos)

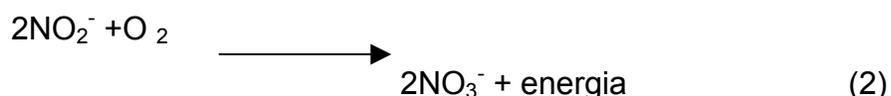
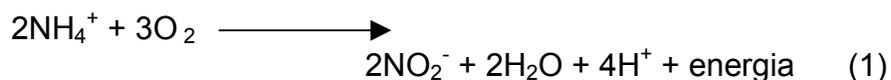
O carbono é o componente comum em toda matéria orgânica; sua movimentação durante a digestão microbiana dos tecidos vegetais e animais é, portanto, extremamente importante. Grande parte da energia adquirida pela fauna e pela flora no interior do solo provém da oxidação do carbono (Brady , 1983).

O carbono orgânico dissolvido no sedimento pode ser derivado da decomposição da liteira, dos organismos mortos e ou extraídos de raízes vivas. Altas concentrações de carbono orgânico dissolvido são consistentes com um alto grau de anaerobiose bem como uma alta densidade da população de bactérias e matéria detritica no chão da floresta (Alongi et al., 1989).

De acordo com Rezende et al., (1990) o carbono orgânico particulado pode apresentar componentes oriundos do manguezal propriamente dito, assim como de fontes terrestres e ou marinhas, dependendo do ciclo da maré.

A maior parte do nitrogênio orgânico de solos está associado com o humus (Brady, 1983).

Os sais de amônio são os primeiros compostos nitrogenados inorgânicos produzidos mediante digestão microbiana. Se as condições forem favoráveis, os íons amônio são submetidos à pronta oxidação, principalmente por meio de dois organismos de finalidade especiais, as bactérias de nitritos e de nitratos, o que pode ser mostrado na equação a seguir (Brady, 1983):



Por sua vez, ao longo do processo de decomposição microbiana dos resíduos vegetais e animais, especialmente daqueles com pequeno montante de nitrogênio, grande parte do nitrogênio inorgânico é convertido para formas orgânicas (Brady, 1983). Nitrogênio orgânico, NH_4^+ e NO_3^- são componentes do ciclo do nitrogênio na natureza. As transformações diagenéticas que ocorrem com a matéria orgânica no sedimento liberam nutrientes para as águas (Chester, 1993).

Neste estudo, os valores obtidos para o carbono orgânico foram de 0,14 a 8,87% e a quantificação do nitrogênio indicou mínimo de 0,03 e máximo de 0,11%, o que resulta, valores de C/N entre 1,75 e 126,71; a variação depende da maior ou menor influência de compostos orgânicos nitrogenados ou não-nitrogenados presente nos restos vegetais que produzem o material humificado.

Uma alta razão C/N sugere que o material orgânico é deficiente em nitrogênio indicando um enriquecimento no material lignocelulótico detrital (Rivera Monroy et al. 1995).

A razão C/N geralmente indica a fonte predominante de matéria orgânica no sistema. Essa razão é parcialmente uma reflexão das diferenças entre: as espécies da floresta na biomassa das raízes, a taxa de consumo de solutos na água intersticial e a composição elementar (Alongi et al., 1992).

O fósforo é um dos mais importantes nutrientes. Quando a matéria orgânica se decompõe, formas solúveis de fósforo são produzidas. No sedimento o fósforo pode estar em diversas formas ou espécies (fósforo orgânico, inorgânico, ligado ao ferro, etc.). A fração orgânica é constituída de ácidos nucleicos, fosfolipídios e fitina, sendo esta última a fração predominante (Kaul & Froelich, 1984).

Os valores de fósforo orgânico estão entre 0,00096 e 0,0042%, onde o valor máximo é representado pela amostra PR2, coletado na baía de Inajá, e resulta em razões de C/P de 100,73 a 1032,0 e de N/P entre 17,2 e 83,33; as variações dessas razões podem evidenciar a ocorrência de matéria orgânica de natureza diferenciada (folhas de *R. mangle*, raízes nutritivas, invertebrados entre outra). Silva (1992) em estudos realizados em manguezais na baía de Sepetiba encontrou valores para fósforo orgânico de 0,0030 a 0,0060%.

A matéria orgânica marrom de solos está diretamente associada com a decomposição bioquímica de matéria vegetal pela atividade metabólica de microorganismos e formação de novas espécies condensadas; o material húmico amorfo domina entre seus componentes (Aiken et al., 1985).

Solos que se acham localizados ao longo de cursos de água, possuem, via de regra, elevado teor de matéria orgânica o que se deve em parte a sua drenagem insuficiente (Brady, 1983).

A quantificação da matéria orgânica levou a resultados entre 0,24 e 15,29%, onde o valor máximo está associado amostra FG2 (material carbonoso, predominantemente arenoso, onde ocorre a fácies Areia de Cordões Praiais), coletada em uma área de manguezal inundada pelas águas do “furo” Grande e que apresenta alta bioturbação.

De acordo com seu conteúdo orgânico, os solos podem classificar-se em dois grupos gerais: minerais e orgânicos. As quantidades de matéria orgânica nos solos variam consideravelmente; os solos minerais contêm desde traços até 15 ou 20% de matéria orgânica (Brady, 1983).

A determinação de carbono orgânico no extrato aquoso bruto (EA1 e EA2) levou a índices entre 8,27 e 11,7mg de C/L; essas amostras foram coletadas em cavidades do arenito de Pilões, resultantes da percolação das águas. Leenheer (1980), em

trabalhos nos rios da bacia amazônica, obteve um resultado elevado de carbono orgânico para rio Negro de 11,7mg/L, coincidindo com os resultados desse trabalho. Segundo Leenheer (1980) a origem primária dessas substâncias húmicas é a de águas subterrâneas drenadas da superfície de solos podzólicos, sendo responsáveis pela coloração escura das águas superficiais, e correspondem a aproximadamente a 50% do material orgânico solúvel.

4.2.3- Capacidade de troca catiônica

A importância das camadas de silicato das argilas para o solo é melhor explicada pela sua capacidade de troca catiônica. A presença de locais negativos em certos argilominerais é responsável pela capacidade de muitos solos reterem cátions frente à lixiviação, e ainda na forma trocável, o que supre os nutrientes para as plantas (Parker & Rae, 1998).

Esmectitas, vermiculitas e zeólitas são grupos de minerais que têm as maiores capacidade de troca catiônica nos solos. Sua carga é proveniente da substituição iônica nas posições estruturais. O grupo das esmectitas é o mais comum, e devido ao seu pequeno tamanho e altas cargas, elas são os minerais quimicamente e fisicamente mais ativos no solo (Dixon *et al.*, 1994).

Nos solos de regiões tropicais, como são os casos dos latossolos e dos podzólicos, predominam as argilas de baixa atividade, como a caulinita, recoberta parcial ou totalmente por óxido de ferro e alumínio, com diferente grau de hidratação (Vieira, 1987).

A matéria orgânica, de uma maneira geral, é a principal responsável pela capacidade de troca catiônica dos solos amazônicos, pois os mesmos têm uma abundância relativa de cargas negativas as quais, entretanto, também dependem do pH (Vieira, 1987).

O humus pode ser considerado como possuindo uma estrutura coloidal semelhante à da argila. Um ânion altamente carregado (micela) é circundado por um enxame de cátions adsorvidos. Existem algumas diferenças importantes entre as micelas húmicas e as inorgânicas como por exemplo: o complexo humo-micela é

basicamente composto de carbono, hidrogênio e oxigênio, em vez de alumínio, sílica e oxigênio; e a capacidade de troca catiônica do humus excede de muito, até a da esmectita (Brady, 1983).

Existem dois tipos de cargas negativas nos colóides do solo: (a) permanente e (b) dependente do pH. A primeira acha-se primordialmente associada com as argilas silicatadas e é consequência das forças eletrostáticas que resultam das substituições isomórficas no interior dos cristais de argilas. Os cátions são permutáveis em todos os níveis de pH. O segundo tipo de carga não é permanente, porém acha-se diretamente relacionado com o pH do solo. A carga é reduzida em solos muito ácidos e aumenta com o acréscimo de pH. Acredita-se que carga provém de diversas fontes: dos grupos SiOH e AlOH nas arestas quebradas e superfície externas das argilas e dos grupos carboxílicos (COOH) e fenólicos (fenol-OH) nos colóides húmicos (Brady, 1983).

Os íons H^+ competem com o cátion livre de um metal nos locais de troca de cátions em ambientes de pH baixo. O pH é importante porque controla a hidrólise do cátion do metal e a sorção. Sob condições de pH suficientemente baixos, os metais estão na forma de cátions livres, e o percentual sorvido por uma certa quantidade de mineral coloidal é mínima. Com o acréscimo do pH dentro da faixa limite de valores de pH que é característica do metal em particular, a concentração de cátion-hidróxido do metal aumenta consideravelmente em relação as dos cátions livres, e percentagem do metal que é ligado no sorvente aumenta abruptamente (Parker & Rae, 1998).

Neste trabalho foram selecionadas 5 amostras para efetuar a análise de capacidade de troca catiônica. A Tabela 8 mostra os resultados dos teores de hidrogênio mais alumínio trocáveis, cálcio mais magnésio trocáveis, sódio e potássio trocáveis, capacidade de troca catiônica, pH e condutividade elétrica.

Tabela 8: Resultados dos elementos trocáveis, CTC, pH e condutividade elétrica

Amostras	H ⁺ + Al ³⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CTC	pH _{KCl}	pH _{H2O}	Cond. elét.(μScm^{-1})
AP1	13,8	10,4	0,06	0,40	24,66	4,56	4,36	3910
AP3	23,2	11,8	0,03	0,63	35,66	4,50	4,62	3040
FG2	5,9	24,0	0,02	0,20	30,12	5,47	5,76	1381
MA1	7,6	13,7	0,50	0,45	22,25	3,40	3,58	2900
BR1	10,6	7,2	0,20	0,04	18,04	6,55	6,50	193

OBS: CTC, corresponde a capacidade de troca catiônica, resultados em meq/100g; cond. Elét. (condutividade elétrica).

O pH do solo é um importante parâmetro controlador do estado químico e mobilidade de muitos elementos. O pH do solo da área estudada variou de 3,58 a 6,50. Quando o solo, rico em H⁺_(aq), interage com solução de KCl, produz um equilíbrio de troca, sendo o H⁺_(aq) substituído pelo K⁺_(aq) fazendo baixar o valor do pH em relação ao pH 7 da solução de KCl.

As soluções de amostras do arenito de Pilões, sob influência direta das lavagens de águas oceânicas, nas marés altas, são responsáveis pelos valores mais altos de condutividade elétrica (máximo em 3910 $\mu\text{S.cm}^{-1}$). A solução de amostra coletada no “furo” Grande apresenta um valor intermediário mais baixo (1381 $\mu\text{S.cm}^{-1}$), A amostra coletada no mangue alto (fáceis Areia Marinha) apresenta um valor intermediário mais alto (2900 $\mu\text{S.cm}^{-1}$). A condutividade elétrica mais baixa (193 $\mu\text{S.cm}^{-1}$) diz respeito à solução mistura de água e sedimento alterado do Barreiras (fáceis Areno-Argilosa) sob influência da proximidade do ambiente marinho, produzindo alguma manifestação de presença de eletrólitos fortes em solução.

Alguns fatores exercem influência sobre a CTC. Por exemplo, os solos de textura mais fina mostram tendência para maior CTC do que os solos arenosos, o montante de matéria orgânica, assim como a quantidade e o tipo de argila (Brady, 1983). A capacidade de troca catiônica (CTC) varia para cada grupo de argilominerais como por exemplo: a caulinita apresenta CTC de 3 – 15meq/100g; a esmectita de 80 – 150 meq/100g; a illita de 10 – 40meq/100g e a clorita de 10 – 40meq/100g (Grim, 1968).

Nos resultados obtidos da capacidade de troca catiônica (CTC), observou-se maior influência da matéria orgânica, pois as amostras mais ricas em matéria orgânica AP3 (9,62% de matéria orgânica) e FG2 (15,29% de matéria orgânica) mostraram os valores mais elevados de CTC (da ordem de 35,66meq/100g e 30,12meq/100g, respectivamente), já que nenhuma das amostras apresentaram argilominerais de alta atividade.

4.3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A quantificação e a caracterização química da matéria orgânica em sedimentos de mangue na ilha de Itarana, situada na baía de Inajá, permitiu associar às diferentes fácies – Areia Marinha, Areia de Cordões Praiais, Areno-Argilosa e Sedimentos Carbonáticos – como se processou a sedimentação e a cimentação desses sedimentos.

Em certas situações, a matéria orgânica atingiu percentuais elevados de 15,3% (material carbonoso, predominantemente arenoso, coletado no manguezal inundado pelas águas do “furo” Grande) e de 9,6% (arenito Pilões), mostrando razões C/N da ordem de (praticamente) 127 e 51, respectivamente, e revelando diferentes estágios de maturação dessa matéria orgânica.

A caracterização química por espectroscopia de absorção na região do infravermelho evidenciou a natureza húmica do material orgânico transportado pelas drenagens continentais para a formação das diferentes fácies. Esses resultados se encontram em conformidade com a natureza química da matéria orgânica presente nos rios de “água preta” da Amazônia (Leenheer, 1980); com a ocorrência de lignina associada ao material húmico transportado pelo rio Amazonas para sua foz (Ertel et al. 1984); pela identificação da lignina em material húmico mais refratário nas águas do “furo” do Meio no manguezal de Bragança (Dittmar, 1999); ou, ainda, pela coleta, fracionamento e caracterização química do material húmico presente no manguezal situado à foz do rio Arapepó (Menezes & Lima, 1999; Menezes, 1999).

5. CONCLUSÃO

A influência de águas fluviais nessas águas estuarinas se faz sentir, notadamente, no período chuvoso, com a diminuição da condutividade elétrica e do pH. Variações nos valores de turbidez, cor e MPS mostram a grande influência exercida pelos manguezais, assim como também pela sazonalidade. A matéria orgânica oxidável obteve valor máximo no período de estiagem de 2,06 mg de C/L, porém mostrou-se ainda mais elevada no período chuvoso (máximo em 3,4 mg de C/L), sugerindo maior contribuição do material transportado pelos rios.

Todos os resultados apresentados ratificam que na região em estudo as características naturais predominam, quais sejam, o transporte de sedimentos ricos em matéria orgânica e o domínio de águas estuarinas.

A análise de difração de raios-X indicou que as amostras que correspondem as fácies Areia Marinha (MA1) e Areno-Argilosa (BR1), há predominância de caulinita e ilita ficando o quartzo e esmectita como subordinados; na amostra PR1 relacionada à Formação Pirabas (fácies Areno-Argilosa), identificou-se a calcita como mineral dominante e caulinita como subordinado; já as amostras correspondentes a fácies Sedimentos Carbonáticos (PR2 e PR3) indicam o domínio da calcita e também a ocorrência de ankerita/dolomita.

A integração de dados de análise química e mineralógica através de cálculos estequiométricos permitiu o estabelecimento de componentes minerais presentes nas amostras e indicou percentuais máximos de caulinita (máximo em 25,88%) e ilita (máximo em 25,26%) nos argilominerais presentes nas amostras de arenito Pilões (máximo de caulinita em 19,83%), do material carbonoso bioturbado de “furo” Grande (máximo de ilita em 3,94%), de sedimentos lamosos de Mangue Alto (máximo de ilita 19,91%), do material alterado dos sedimentos da Formação Pirabas (máximo de caulinita em 26,18%), bem como percentuais de sílica (principalmente quartzo) com máximos de arenito Pilões (81,24%), no material carbonoso de “furo” Grande (93,35%) e Mangue Alto (69,19%) e mínimo nos sedimentos alterados de Pirabas (2,46%); os argilominerais interestratificados foram calculados por diferença e inferidos a partir de resultados analíticos para Ca, Mg, Fe, Na e K; a hematita (13,49%) aparece somente

nos sedimentos Barreiras, enquanto a calcita (máximo em 74,46%) e a dolomita (máximo em 9,37%) dominam os sedimentos Pirabas. Tais resultados mostram a influência dos sedimentos Barreiras como suporte para os manguezais; por sua vez, a influência oceânica levou à deposição de dolomita em tempos pretéritos durante a sedimentação da Formação Pirabas.

A interpretação dos espectros de absorção na região do infravermelho do material húmico, permite identificar bandas relativas a grupos funcionais de ácidos carboxílicos (-COOH-; -C=O-); metil (-CH₃) e metileno (-CH₂-); hidrofílicos (OH alcoólica e fenólica); carboxilatos e/ou complexação de metais como Fe e Al; e a presença de geopolímeros através da identificação de bandas devidas a silicatos. Essas considerações permitem observar a ocorrência de material húmico seja nas águas (talvez mais recentes) ou nos sedimentos.

As relações C/N, C/P e N/P elevadas são indicativas de uma deficiência de compostos orgânicos nitrogenados e fosfatados, porém há um enriquecimento de material que provém de produtos de decomposição de celulose, de origem vegetal. A relação C/N de 126,71 da amostra coletada no “furo” Grande indica um período longo de maturação.

A matéria orgânica se manifesta, notadamente, na coloração das águas ou associada à matriz mineral nos sedimentos. Nos extratos aquosos lixiviados de solos podzólicos sobrepostos ao arenito Pilões seus índices variaram de 8,27 a 11,7 mg de C / L; no arenito Pilões observou-se o máximo em 5,58% de carbono orgânico; no material carbonoso de “furo” Grande atingiu porcentual de 8,87 de carbono orgânico; já no Mangue Alto, de sedimentação recente, seu teor chega a 1,87% em termos de carbono orgânico.

Através da capacidade de troca catiônica, observou-se a grande influência da matéria orgânica na sorção e desorção de íons, pois as amostras mais ricas em matéria orgânica (15,29% e 9,62%) apresentaram índices máximos de CTC da ordem de 30,12 meq/100g e 35,66 meq/100g, respectivamente.

A elevada quantidade de matéria orgânica parece estar associada com o ciclo das marés, a drenagem insuficiente no sedimento, alta bioturbação (restos de vegetais, ação de organismos marinhos) e também com a percolação de águas subterrâneas que

originam substâncias húmicas em solos podzólicos, ou seja, apresenta duas fontes de origem: uma alóctone – detritos transportados pelos rios, e a outra autóctone – resultante de raízes, invertebrados e talvez principalmente da própria liteira dos manguezais.

Por sua vez espera-se que o manguezal exporte para as águas costeiras nutrientes (orgânico e inorgânicos), a julgar pelos resultados apresentados envolvendo águas estuarinas e sedimentos; para as águas os parâmetros ambientais e geoquímicos, relacionado com a sazonalidade; para o sedimento relacionado com a diagênese da matéria orgânica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKERMANN, F.L. 1964. *Esboço para a geologia entre a cidade de Belém – rio Gurupi e Atlântico – rio Guamá*. Belém, UFPA. Imprensa Universitária 79p.
- ACKERMANN, F.L. 1969. *Geologia e fisiografia da região Bragantina, Estado do Pará*. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 90p.
- AIKEN, G.R.; MCKNIGHT, D.M.; WERSHAW, R.L.; MACCARTHY, P. 1985. *Humic substances in soil, sediments, and water :Geochemistry, isolation, and characterization*. New York, Wiley. 692p.
- ALMARAZ, J. S. 1979. *Aspectos geoquímicos e ambientais dos calcários da Formação Pirabas, Estado do Pará*. Porto Alegre, Universidade federal do Rio Grande do Sul. 186p. (Tese Doutorado).
- ALMEIDA, S.S. 1995. Uso de recursos e impactos em manguezais amazônicos: implicações para o manejo e conservação. In: WORKSHOP ECOLAB, 3. Belém. *Resumos*, MPEG/SUDAM/UFPA. p. 1-3.
- ALONGI, D.M.; BOTO, K.G.; ROBERTSON, A.I. 1992. Nitrogen and phosphorus cycle In: ROBERTSON, A.I.; ALONGI, D.M. (eds), *Tropical mangrove ecosystems. Coastal and Estuarine Studies* 41. American Geophysical Union, Washington.
- ALONGI, D.M.; BOTO, K.G.; TIRENDI, F. 1989. Effect of exported mangrove litter on bacterial productivity and dissolved organic carbon fluxes in adjacent tropical nearshore sediments. *Marine Ecology Progress Series*, **56**: 133-144.
- APHA, AWWA, WPCF. 1976. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington. D.C. 1193p. American Public Health Association e outras instituições.

- BARBOSA, G.V. & PINTO, M.N. 1973. Geomorfologia. In: BRASIL. Projeto RADAM. *Folha SA 23, São Luís e parte da Folha SA 24, Fortaleza*; geologia, geomorfologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 26p.
- BASSETT, J.; DENNY, R. C.; JEFFERY, G. H.; MENDAHAM, J. 1981. *Vogel Análise Inorgânica Quantitativa*. Rio de Janeiro. Ed. Guanabara Dois.
- BASTOS, M. N. C. & LOBATO, L. C. B. 1995. Caracterização fitofisionômica da restinga da ilha de Algodal – Maracanã – Pará. In: WORKSHOP ECOLAB. 3., Belém, *Resumos*. Belém, MPEG/SUDAM/UFGA. P. 94-95.
- BEMERGUY, R. L.; BORGES, M. S.; COSTA, J. B. S. 1992. Geomorfologia da região do Salgado, NE do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, São Paulo. *Anais*. SBG, v. 2, p. 269.
- BRADY, N.C. 1983. *Natureza e propriedades dos solos*. Rio de Janeiro, Freitas Bastos. 647p.
- BRINGEL, S.R.B. 1984. Bacia do rio Parauari-Maués-Açu: aspectos químicos devido as alterações hidrológicas da bacia. *Acta Amazônica*, **14**: 77-85.
- CETESB. 1978. b Normalização técnica NT 07. *Análises físico-químicas de águas*. São Paulo. Cetesb.
- CHESTER, R. 1993. *Marine Geochemistry*. London, Unwin Hyman. 698 p.
- COHEN, M. C. L. 1998. *Nutrientes e outros fatores relacionados a produção primária nas águas do manguezal de Bragança – Pa*. Belém. UFGA. Centro de Geociências. 116p. (Dissertação de Mestrado).

- COSTA, J. L.; BOAS, V.M.J.; PESTANA, J.M.N.; WANDERLEY, V.J.R.; ARAÚJO, A.A.F.; FRIZZO, J.S. 1977. *Projeto Gurupi: Relatório Final*. v.1. DNPM/CPRM.
- DEGENS, E. T.; KEMPE, S.; RICHEY, J. E. 1991. *Biogeochemistry of Major World Rivers*, Scope 42. Brisbane, Wiley.
- DHN. 1995. *Tábuas de marés para 1996. Costa do Brasil e alguns portos estrangeiros*. 33^a ed. Rio de Janeiro. p. 1-6.
- DITTMAR, T. 1999. *Outwelling of organic matter and nutrients from a mangrove in North Brazil: Evidence from organic tracer sand flux measurements*. Bremen. 200p.
- DIXON, J. B.; JACOB, J. S.; WHITE, G. N. 1994. Todorokite in manganese oxide nodules of Gutemalan Vertisol. *Soil Sci. Soc. Am.* 409-410.
- DREVER, J. I. 1988. *The Geochemistry of natural waters*. New Jersey, Prentice – Hall. 436p.
- EMBRAPA 1997. a *Manual de Métodos de Análise de Solos*. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos.
- EMBRAPA 1997. b *Sistema brasileiro de classificação de solos (4.^a aproximação)*. Rio de Janeiro.
- ERTEL, J. R. HEDGES, J. I. PERDUE, E. M. 1984. Lignin signature of aquatic humic substances. *Science*, **223**: 485-487
- FERREIRA, C.S. 1982. Notas estatigráficas sobre o cenozóico marinho no Estado do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 01., Belém. *Anais...* Belém, SBG. v. 1, p. 84-88.

- GAUDETTE, H. E.; FLIGHT, W. R.; TONER, L.; FOLGER, D. W. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*. **44**: 249-253.
- GÓES, A.M. 1981. *Estudos sedimentológicos dos sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecuru, no nordeste do Pará e noroeste do Maranhão*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 55p. (Dissertação de Mestrado).
- GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. 1980. Caracterização faciológica e ambiental dos sedimentos Barreiras da região Bragantina nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú. *Anais...* Camboriú, SBG. v.2. p. 766-771.
- GÓES, A.M.; ROSSETI, L.F.; NOGUEIRA, A.C.R.; TOLEDO, P.M. 1990. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas do nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Belém. Série Ciência da Terra. **2**: 3-15.
- GÓES FILHO; JAPIASSU, A. M. S.; LEITE, P. F. 1973. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. In: BRASIL. Projeto RADAM. *Folha AS-23 São Luís e parte da folha AS-24 Fortaleza: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, DNPM p.3-113. (Levantamento de Recursos Naturais, 3).
- GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MOREL, C.M.; ELLERT, B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 74:367-385.
- GRIM, R.E. 1968. *Clay mineralogy*. New York, MacGraw-Hill. 596p.
- HUTZINGER, O. 1980. *The handbook of environmental chemistry*. Berlin, Springer-Verlag.

- JEFFERY, P. G. 1975. *Chemical methods of rock analysis*. 2^a ed. Oxford, New York.
- JUNK, W.J. & FURCH, K. 1985. The physical and chemical properties of Amazonian waters and their relationships with the biota. In: PRANCE, G.T.; LOVEJOY, T.E. *Key Environments: Amazonia*. Oxford, Pergamon Press. p. 3-17.
- KATZER, F. 1933. Geologia do Estado do Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense de História Natural e Emografia.*, Belém, **9**: 1-269.
- KAUL, L. N. & FROELICH, P. N. 1984. Modelling estuarine nutrient geochemistry in a simple system. *Geochim. Cosmochim. Acta*. **48**: 1417–1433.
- LACERDA, L.D.; ITTEKOT, V.; PATCHINEELAM, S.R. 1995. Biogeochemistry of mangrove soil organic matter. A comparison between rhizophora and avicennia soils in South-Eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **40**: 173-720.
- LEENHEER, J.A 1980. Origin and nature of humic substances in the waters of the Amazon river basin. *Acta Amazônica*, **10**: 513-526.
- LIMA, R.R. & TOURINHO, M.M. 1985. *Várzeas do Nordeste Paraense e Pré-Amazonia Maranhense: características e possibilidades agrícolas*. Belém. FCAP. 80p.
- LIMA, W.N. & KOBAYASHI, C.N. 1988. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema flúvio-estuarino de Barcarena-PA. *Geochim. Brasiliensis* **2**: 55-71.
- MAREL, H. V. & BEUTELSPACHER, H. 1976. *Atlas of infrared spectros copy of clay minerals and their admixtures*. Elsevier. 320p.
- MARTINS, L. R. 1987. Sedimentos quaternários da plataforma continental brasileira. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO. 1., Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, ABEQUA. p. 11-25.

- MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L. C.; CEZAR, E. G. M.; PEREIRA, I. C. B. 1993. *Estudos Climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornwhite, Matter)*. Belém, SUDAM/EMBRAPA, SNLCS. 53 p.
- MAXWELL, J. A. 1968. *Rock and mineral analysis*. New York. John Wiley. 584 p.
- MAYER, L.M. 1985. Geochemistry of humic substances in estuarine environments. In: WERSHAW, R.L. & MacCARTHY, P. *Humic substances in soil, sediment and water: Geochemistry, isolation and characterization*. New York, John Wiley & Sons. p. 211-232.
- MAZDA, Y. 1990. Ground water flow in the Bashita-Minato mangrove area, and its influence on water and bottom mud properties. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **31**: 621-638.
- MELLO, C. F.; BRITO DA SILVA, A., PERES, A. C. 1995. Contribuição ao conhecimento da fauna dos manguezais paraenses. In: WORKSHOP ECOLAB, 3. *Resumos*. Belém, MPEG/SUDAM/ UFPA. p. 35.
- MENEZES, L. B. C. 1999. *Caracterização biogeoquímica de ecossistemas amazônicos: rios e lagos selecionados nas microrregiões Bragantina, do Salgado e Guajarina-Pa*. Belém. UFPA. Centro de Geociências. 169p. (Tese de Doutorado).
- MENEZES, L. B. C. & LIMA, W. N. 1999. Uma visão geoquímica ambiental sobre a influência da ação antrópica em ecossistemas aquáticos estuarinos (NE do Pará) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 7., Porto Seguro. *Anais...* Porto Seguro, SBG. p. 136-138.
- OLPHEN, H. & FRIPIAT, J.J. 1979. *Data handbook for clay minerals and other non-metallic minerals*. Pergamon Press.

- OTOBO, A. O. 1995. *Características de águas naturais sujeitas à influência da Formação Pirabas – Zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina* (Pa). Belém. UFPA. Centro de Geociências . 118p. (Dissertação de Mestrado).
- OTOBO, A. O. & LIMA, W. N. 1994. Aspectos geoquímicos das águas marinhas da região NE do Pará In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 34., Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, SBQ. p. 10-304.
- PARKER, A. & RAE, J. E. 1998. *Environmental interactions of clays. Clays and the environment*. New York, Springer-Verlag.
- POPPI, N. R. & TOLAMONI, J. 1992. Estudos dos ácidos húmico e fúlvico, extraídos de solos, espectroscopia de infravermelho. *Química Nova*, **15**: 281-285.
- PROST, M. T. R. C. & RABELO, B. V. 1996. Variabilidade fito-espacial de manguezais litorâneos e dinâmica costeira: exemplos da Guiana Francesa, Amapá e Pará. *Bol. Mus. Par. E. Goeldi*. **8**: 101-121.
- RAMIREZ, A.J. & ROSE, AW. 1992. Analytical geochemistry of organic phosphorus and its correlation with organic carbon in marine and fluvial sediments and soils . *Arn. J. Sci.* **292**: 421-454
- REYNOLDS, R.C. Jr. & MOORE, D.M. 1991. *X – ray diffraction and the analysis of clays minerals*. Oxford. Oxford University Press. New York. 332p.
- REZENDE, C.E.; LACERDA, L.D.; OVALE, A.R.C.; SILVA, C.A.R.; MARTINELLI, L.A. 1990. Nature of POC transport in a mangrove ecosystem: A carbon stable isotopic study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **30**: 641-645

- RIBEIRO, C. & SENNA, C.S.F. 1995. Estudos dos subambientes da Restinga de Fortalezinha – ilha de Algodal - NE do Pará. In: WORKSHOP ECOLAB, 3. *Resumos*. Belém, MPEG/SUDAM/UFPA. p.112-114.
- RILEY, J.P . 1958. The rapid analysis of silicate rocks and minerals. *Ana . Chim. Acta*, **19**: 325- 334.
- RIVERA-MONROY, V. H. ; DAY, J. W.; TWILLEY R. R. VERA-HERRERA, F.; CORONADO-MOLINA, C. 1995. Flux of nitrogen and sediment in a Fringe Mangrove forest in terminos lagoon, Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **40**: 139-160.
- ROBERTSON, A . I. & PHILLIPS, M. J. 1995 . Mangrove as filter of shrimp pond effluent: predictions and biochemical research needs. *Hidrobiologia* **295**: 311–321.
- ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; TRUCKENBRODT, W. 1990. A influência marinha nos sedimentos Barreiras. *Boletim do Museu Emílio Goeldi*, Série Ciências da Terra, Belém. **2**: 17-29.
- ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A. M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, NE do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Série Ciência da Terra, Belém **1**: 25-74.
- SÁ, S.H. 1969. *Contribuição à geologia dos sedimentos terciários e quaternários da região Bragantina, Estado do Pará*. Bol. Geol., 3. Inst. Geoc. Univ. Fed. Pará p. 21-36.
- SCHAEFFER-NOVELLI. Y. 1987. Manguezais brasileiros: região sudeste-sul. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTAS SUL E SUDESTE BRASILEIRA. 1., São Paulo. *Atas*. p. 7-8.

- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. 1989. Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com especial ênfase sobre o ecossistema manguezal. *Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo*, São Paulo **7**:1-7.
- SCHNITZER, M. & KHAN, S. U. 1978. *Soil organic matter*. New York, Elsevier. 319p.
- SCHWENDENMANN, L. 1998. *Tidal and Seasonal of Soil and Water properties in a Brazilian mangrove ecosystem*. Germany University of Karlsruhe, 101p.
- SENESI, N. 1993. Nature of interactions between organic chemicals and dissolved humic substances and influence of environmental factors. In: BECK, A.J. ; JONES, K.C.; HAYES, M.M.B.; MINGELGRIN, U. *Organic substances in soil and water: natural constituents and their influences on contaminant behavior*. Cambridge, Royal Society of Chemistry.
- SILVA, C.A.R. 1992. *Formas e taxas de ciclagem do fósforo no ecossistema manguezal de Itacuruçá, baía de Sepetiba, RJ*. São Carlos. Universidade Federal de São Carlos. 118p. (Tese de Doutorado).
- SILVA, M.S. 1996. *Morfoestratigrafia e evolução da planície costeira de Salinópolis, NE do Pará*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 142p. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA JUNIOR, O.G. 1998. *Morfoestratigrafia da planície costeira do município de São João de Pirabas (porção NW) - NE do Estado do Pará*. Belém. UFPA. Centro de Geociências . 89p. (Dissertação de Mestrado).
- SIOLI, H. 1951. Alguns resultados e problemas da limnologia amazônica. *Bol. Tec. Inst. Agrônomo do Norte*, **24**: 3-45.

- SIOLI, H. 1960. Pesquisas limnológicas na região da estrada de ferro de Bragança, Estado do Pará –Brasil. *Bol. Tec. Inst. Agrônômico do Norte*. **37**: 1 – 73.
- SIOLI, H. 1967. Studies in amazonian waters. In: SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA. 3., Belém, *Atas*. Rio de Janeiro. CNPQ. p. 9 –50.
- SIOLI, H. 1985. *Amazônia*: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. Rio de Janeiro, Ed. Vozes. 112p.
- SONG, Y. 1999. *Interactions in anoxic freshwater sediments*: Mobility of heavy metals and nutrients. Springer.
- STEVENSON, F.J. 1982. *Humus chemistry*. New York, John Wiley & Sons. 433p.
- STEVENSON, F.J. & BUTLER J.H. A. 1970. Chemistry of humic acids and related pigments. In: *Organic Geochemistry*: Methods and Results. Springer, p. 534-557.
- STEVENSON, F.J. & GOH, K.M. 1971. Infrared spectra of humic acids related substances. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. **35**: 471-483.
- TCHOUBANOGLIOUS, G. & SCHROEDER, E.D. 1985. *Water quality*. Menlo Park, Addison-Wesley publishing Company. 768p.
- THURMAN, E. M. 1985. *Organic geochemistry of natural waters*. Netherlands, M. Nijhoff/W. Junk publishers. 486p.
- TRUCKENBRODT, W. 1981. Contribuição à mineralogia e a geoquímica da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Série Ciência da Terra, Belém **25**: 1-26.

- TURENNE, J.F. 1997. L'Écosystème mangrove – continuité et discontinuité. In: WORKSHOP ECOLAB, 4., Cayenne. *Resumos*. Cayenne- Fr. p.14-17.
- VIEIRA, L. S. 1987. *Amazônia seus solos e outros recursos naturais*. São Paulo, Agronômica Ceres. 416p.
- WALKER, I. 1987. The biology of streams as part of Amazonian forest ecology. *Experientiae*, **73**: 279-287.
- WEAVER, C. E. & POLLARD, L. D. 1973. *The chemistry of clay minerals. Developments in sedimentology*. Elsevier. 213p.
- WELZ. B . 1976 . *Atomic absorption spectroscopy* . Weinhein , New York.
- WISSMAR, R.C.; RICHEY, J.E.; STALLARD, R. F.; EDMOND, J.M. 1980. Metabolismo do plâncton e ciclo do carbono no rio Amazonas, seus tributários e águas de várzea. Peru-Brasil, maio-junho. *Acta Amazonica*. **10**: 823-834.

TABELA 2: Descrição sumária das amostras de sedimentos coletadas na ilha de Itarana (São João de Pirabas, NE do Pará) .

LOCAL DE COLETA	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	CARACTERÍSTICAS
PILÕES	AP1	Material arenoso, de coloração amarelada, quebradiço, de sedimentação antiga, coletado na localidade de Pilões (ilha de Itarana), onde ocorre a fácies Areia de Cordões Praiais, na profundidade de 10cm.
PILÕES	AP 2	Material arenoso, de coloração esbranquiçada por fora e amarelada por dentro, quebradiço, de sedimentação antiga, coletado na localidade de Pilões, onde ocorre a fácies Areia de Cordões Praiais, na profundidade de 10cm.
PILÕES	AP 3	Material arenoso de coloração marrom-escura, quebradiço, de sedimentação antiga, coletado na localidade de Pilões, onde ocorre a fácies Areia de Cordões Praiais, na profundidade de 10cm.
“FURO” GRANDE	FG 1	Material arenoso, de coloração marrom-escura com muita matéria orgânica, quebradiço, de sedimentação antiga, coletado na localidade do “furo” Grande, onde ocorre a fácies Areia de Cordões Praiais, na profundidade de 10cm.
“FURO” GRANDE	FG 2	Material arenoso de coloração marrom-escura com muita matéria orgânica, com estrutura bioturbada, quebradiço, de sedimentação antiga, coletado na localidade do “furo” Grande, onde ocorre a fácies Areia de Cordões Praiais, na profundidade de 10cm.
MANGUE ALTO	MA 1	Material lamoso, de coloração cinza-média, rico em matéria orgânica, de sedimentação recente, coletado em mangue alto, onde ocorre a fácies Areia Marinha, na profundidade de 70cm.
PIRABAS	PR 1	Calcário branco-amarelado, poroso e muito duro, formando carapaças de fósseis, coletado na porção SE da ilha de Itarana, onde ocorre a fácies Areno-Argilosa, na profundidade de 10cm.
PIRABAS	PR 2	Calcário branco-acinzentado, poroso e muito duro, apresentando carapaças fósseis, coletado na baía de Inajá na baixa-mar, onde ocorre a fácies Sedimentos Carbonáticos, na profundidade de 10cm.
PIRABAS	PR 3	Calcário de coloração cinza-escuro, poroso e muito duro, apresentando carapaças fósseis, coletado na baía de Inajá na baixa-mar, onde ocorre a fácies Sedimentos Carbonáticos, na profundidade de 10cm.
BARREIRAS	BR 1	Argelito maciço de coloração cinza-esbranquiçada com tons avermelhados; apresenta certa quantidade de material arenoso, quebradiço, coletado em uma falésia ao SE da ilha de Itarana, onde ocorre a fácies Areno-Argilosa, na profundidade de 20cm.

