



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Oceanografia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LIZANDRA PANTOJA BAIA

**SETORIZAÇÃO SEDIMENTAR DO ESTUÁRIO DO RIO MOJUIM, SÃO
CAETANO DE ODIVELAS/PA.**

Belém

2016

LIZANDRA PANTOJA BAIA

**SETORIZAÇÃO SEDIMENTAR DO ESTUÁRIO DO RIO MOJUIM, SÃO
CAETANO DE ODIVELAS/PA.**

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

Orientador: Prof. Dra. Sury de Moura
Monteiro

Coorientador: Msc. Maurício da Silva da
Costa

Belém

2016

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

Baia, Lizandra Pantoja, 1991 -

Setorização sedimentar do estuário do rio Mojuim, São Caetano de
Odivelas/PA / Lizandra Pantoja Baia. – 2016
65 f : il; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientadora: Sury de Moura Monteiro

Coorientador: Maurício da Silva da Costa

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

1. Sedimentologia (PA). 2. Estuários. 3. Oceanografia dos estuários. I.
Título.

CDD 22 ed. 552.5098115

LIZANDRA PANTOJA BAIA

**SETORIZAÇÃO SEDIMENTAR DO ESTUÁRIO DO RIO MOJUM, SÃO
CAETANO DE ODIVELAS/PA.**

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

Data de aprovação: 25 / 04 / 2016 /

Conceito: EXCELENTE

Banca examinadora:

Sury de Moura Monteiro

Profa. Sury de Moura Monteiro - Orientadora
Doutora em Oceanografia Ambiental
Universidade Federal do Pará

Maurício da Silva da Costa

Msc. Maurício da Silva da Costa – Coorientador
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Marcelo Rollnic

Prof. Marcelo Rollnic - Membro
Doutor em Oceanografia
Universidade Federal do Pará

Lúcio Cardoso Medeiros Filho

Msc. Lúcio Cardoso de Medeiros Filho - Membro
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Ao único merecedor de toda honra e toda Glória, Deus.
Aos meus pais Ely Baia e Anizio Castro, meus avós Luzia Baia, Graça Maria e Renato Cuentro e ao meu noivo Tarcysio Moraes pelo apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo seu infinito amor e misericórdia, que me permitiu chegar até aqui, suprimindo todas as minhas necessidades e preenchendo toda minha ansiedade. A Ele toda honra e toda glória.

Aos meus pais, Ely Baia e Anizio Castro, que com muito esforço e amor permitiram com que eu realizasse um sonho, a eles dedico meu sucesso.

Aos meus avós Luzia Baia, Renato Cuentro e Graça Maria, por toda ajuda a mim direcionada nos momentos de dificuldades e pelo constante incentivo.

Ao meu noivo Tarcysio Moraes pela paciência e dedicação com que me auxiliou durante os anos de graduação.

A Prof. Dr. Sury Monteiro pelo irrestrito auxílio e constante incentivo, sempre disponível orientando-me em todas as etapas de elaboração deste trabalho.

Ao meu co-orientador Msc. Maurício da Costa por todo tempo dedicado a ensinar-me e instruir-me durante a elaboração dos mapas deste trabalho.

Ao meu querido amigo Thiago Monteiro, que sempre esteve ao meu lado durante a corrida e árdua graduação, sempre disposto a ajudar-me nos momentos mais difíceis dessa trajetória.

Aos amigos que amo e que me auxiliaram de forma direta e indireta durante a graduação e elaboração do TCC: Leandro Santana, Arthur Ramos, Pamela Yhaohannah, Gabriela Gomes, Paulo Roberto e Heriton Kevin.

Aos integrantes do Laboratório Oceanografia Geológica e Geofísica marinha (LIOG): Ivson, Débora, Herbert, Fabrício, Gabriela, Renata, Matheus e Micaella que se dedicaram em trabalhar juntamente comigo na fase de análises laboratoriais e proporcionaram-me momentos memoráveis que lembrarei com carinho.

A minha turma de Oceanografia 2012, por compartilhar uma das melhores fases da minha vida.

Aos professores da faculdade de oceanografia da UFPA pelos anos dedicados ao ensino e formação de alunos comprometidos com a ciência.

Ao técnico do laboratório de sedimentologia, seu Lopes, pela ajuda nas análises laboratoriais.

A todos que de forma direta ou indireta colaboraram para a concretização deste trabalho.

Muito obrigada a todos!

“A sabedoria é a coisa principal; adquiere, pois, a sabedoria; sim, com tudo o que possuis, adquiere o conhecimento. Exalta-a, e ela te exaltará; e, abraçando-a tu, ela te honrará.”

Provérbios 4:7-8

RESUMO

O estuário do rio Mojuim, localizado no nordeste paraense, deságua diretamente no oceano Atlântico, sendo influenciado tanto pelas águas fluviais quanto marinhas. O objetivo desse trabalho foi identificar o padrão de distribuição espacial dos sedimentos do fundo e os principais setores de deposição recente, condicionados pelas forçantes fluviais e marinhas, do estuário do rio Mojuim (São Caetano de Odivelas/PA). Foram coletadas 117 amostras de sedimento superficiais, com auxílio de uma draga de Van Veen; e realizadas análise de granulometria por peneiramento e determinação do teor de matéria orgânica e carbonato por calcinação. Os dados foram tratados estatisticamente para propor a setorização do estuário do rio Mojuim. A partir da integração de dados sedimentológicos e técnicas de estatística multivariada (análise de agrupamento (Cluster) e análise de componentes principais (PCA)), pode-se observar que o sedimento do fundo do estuário do rio Mojuim é predominantemente fino, variando de areia muito fina à lama, com baixo teor de matéria orgânica (média 5,8%) e carbonato (média 2,4%). Além disso, foi possível identificar três subambientes de sedimentação ao longo do estuário do rio Mojuim, um com domínio estritamente marinho, com predominância de sedimento arenoso moderadamente selecionado, outro em que há domínio flúvio-estuarino, com predominância de sedimento lamoso pobremente selecionado e um setor transicional.

Palavras-chave: Setorização. Granulometria. Estatística multivariada. Salgado Paraense.

ABSTRACT

The Mojuim river estuary, located in northeast Pará, flows into the Atlantic Ocean, it is influenced by fluvial and marine waters. The purpose of this study is identify the pattern of spatial distribution of bottom sediments and the recent deposition sectors, conditioned by fluvial and marine forcings, from the Mojuim river estuary (São Caetano de Odivelas/PA). We collected 117 samples of superficial sediment, with Van Veen grab sampler; the grain size of sediment samples is determined by the sieve method, and organic matter and carbonate by loss on ignition. Analytical data were treated statistically to propose the compartmentalization of the Mojuim estuary. The integration of sedimentological data and multivariate statistical techniques (Cluster analysis (Cluster) and principal component analysis (PCA), indicated that the Mojuim river estuary presents sediment ranging from very fine sand to mud, with low organic matter content (average 5.8%) and carbonate (average 2.4%). Furthermore, was possible to identify three depositional environments the Mojuim river estuary, a marine domain, with sandy sediment moderately selected, another with fluvial-estuarine domain, with muddy sediment poorly selected and a transitional domain.

Keywords: Sectorization. Particle size. Multivariate statistics. Salgado Paraense.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Diagrama Folk de 1954, (a) diagrama principal e (b) complementar. c) Diagrama de Shepard de 1954. d) Diagrama Pejrup de 1988.....	23
Figura 2- Mapa de localização do estuário do rio Mojuim, São Caetano de Odivelas/PA.	26
Figura 3- Distribuição da Geologia (a) e da Geomorfologia (b) do município de São Caetano de Odivelas/PA.....	28
Figura 4- Batimetria do rio Mojuim.	29
Figura 5- Técnicas de amostragem de sedimento. a) Draga de Van Veen; b) Amostra colocada na basqueta e c) Acondicionamento da amostra.	32
Figura 6- Mapa de distribuição das estações de coleta de sedimento e divisão das zonas ao longo do estuário do rio Mojuim, São Caetano de Odivelas/PA.	33
Figura 7- Fluxograma de amostragem e métodos analíticos adotados.	34
Figura 8- Métodos de análise de granulometria a) Agitador Ro-tap; b) Peneiramento à úmido; c) Centrífuga.....	35
Figura 9- Distribuição da granulometria segundo a classificação de Wentworth de 1922 (a) e Folk de 1954 (b) no estuário do rio Mojuim.	40
Figura 10- Classificação de Shepard de 1954 para o estuário do rio Mojuim.....	41
Figura 11- Classificação quanto à seleção dos grãos (a), a assimetria (b) e a curtose (c) ao longo do estuário do Rio Mojuim.	43
Figura 12- Distribuição da hidrodinâmica segundo a classificação de Pejrup de 1988 no estuário do rio Mojuim.	44
Figura 13- Distribuição do teor de matéria orgânica (a) e carbonato (b) ao longo do estuário do rio Mojuim.....	46
Figura 14- Dendrograma representativo dos três grupos (subambientes) obtidos através da análise de agrupamento das amostras coletadas. O grupo 1 representa o subambiente marinho, o grupo 2 o subambiente transicional e o grupo 3 o subambiente flúvio-estuarino.	47
Figura 15- Proposta de Setorização do estuário do rio Mojuim e síntese dos grupos (subambientes) a partir da média das variáveis sedimentológicas.	49
Figura 16- Representação gráfica das coordenadas das variáveis sedimentológicas e suas correlações com os eixos 1 e 2.	51

Figura 17- Representação gráfica das coordenadas vetoriais das estações analisadas no estuário do rio Mojuim, agrupadas em relação aos três subambientes previamente identificados, e suas relações de distância com os eixos fatoriais 1 e 2. O grupo 1 indica o subambiente marinho, o grupo 2 indica o subambiente de transição e o grupo 3 indica o subambiente flúvio-estuarino.52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Estuários	16
3.1.1 Definição.....	16
3.1.2 Classificação Estuarina	17
3.2 Sedimento estuarino	19
3.3 Matéria orgânica (MO)	24
3.4 Carbonato de cálcio (CaCO₃)	24
4 ÁREA DE ESTUDO	26
4.1 Localização e caracterização da área de estudo	26
4.1.1 Geologia.....	27
4.1.2 Geomorfologia	27
4.1.3 Hidrografia.....	29
4.1.4 Vegetação	30
4.1.5 Clima.....	30
4.1.6 Aspectos Oceanográficos.....	30
5 MATERIAL E MÉTODOS	32
5.1 Amostragem	32
5.2 Análises Laboratoriais	33
5.2.1 Granulometria	34
5.2.2 Matéria orgânica	35
5.2.3 Carbonato de Cálcio (CaCO ₃)	36
5.3 Tratamento Estatístico	36
5.3.1 Análise Sedimentológica	36
5.3.2 Setorização.....	37
6 RESULTADOS	39
6.1 Análise Textural	39
6.2 Matéria Orgânica (MO)	45
6.3 Carbonato de cálcio (CaCO₃)	45

6.4 Setorização	47
7 DISCUSSÃO	53
7.1 Sedimentologia	53
7.2 Setorização	55
8 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Os estuários estão entre os mais produtivos e importantes ecossistemas do mundo, devido às suas características de transição entre os ambientes fluviais e marinhos, e às forçantes de ambos os ambientes, que atuam controlando a dinâmica e a distribuição das propriedades físicas, químicas, biológicas e sedimentares (PERILLO, 1995). Essas características propiciam o fornecimento de alimento para diversas espécies e condições favoráveis para abrigo. Além disso, facilitam o desenvolvimento de atividades antrópicas nesse ecossistema como construções portuárias, comércio e lazer (BARCELLOS, 2005).

Dalrymple et al (1992) classifica o estuário como sendo uma porção marinha de um vale de rio afogado que recebe sedimentos de origem marinha e fluvial e que contém fácies influenciadas pelos processos fluviais, pelas marés e ondas. Desse modo, os estuários contribuem significativamente na composição sedimentar dos sistemas costeiros ou na estrutura dos próprios ambientes estuarinos, sendo um segmento relevante para o ciclo sedimentar (DAVIS, 1985).

A hidrodinâmica e a circulação estuarina são fundamentais para este ciclo, pois promove o transporte de sedimentos entre os oceanos e continentes (MIRANDA, 1984; MIRANDA et al., 2002). Assim, alguns estudos são realizados com o objetivo de identificar a distribuição das características sedimentares dos estuários, utilizando parâmetros sedimentológicos para compreender a influência do rio e do oceano sobre o estuário (VIEIRA et al, 2008; SILVA, 2012).

O estuário do rio Mojuim, localizado no município de São Caetano de Odivelas/PA, está inserido na Costa Atlântica do Salgado Paraense que pertence à Mesorregião do Nordeste Paraense. Essa região se destaca por apresentar um relevo plano a suave ondulado, sendo um ambiente com aceleradas transformações morfosedimentares, sob a influência de um regime de macromaré (4 a 6m) de alta energia (ALVES, 2001; EL-ROBRINI et al., 1992; SOUZA FILHO, 1995, 2001; EL-ROBRINI, 1997).

Esse estuário é um constituinte importante da bacia hidrográfica do município de São Caetano de Odivelas e desempenha um importante papel nos aspectos econômico e social do município, tendo sua renda baseada na atividade pesca de curral, artesanal e ribeirinha, captura de caranguejo e de camarão (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2014). Além disso, o estuário recebe influência direta do oceano Atlântico e apresenta uma extensa área de manguezal (4.500Km) que abrange três importantes Resexs (Mocapajuba, São João da

Ponta e Mãe Grande do Curuçá) inseridas na região dos município de São Caetano de Odivelas, São João da Ponta e Curuçá.

Nesse estuário diversos trabalhos sobre aspectos sociais, ecológicos, biológicos e físicos foram realizados (BARROS et al., 2011; FAURE, 2013; FIDELLIS, 2013; KIYATAKE, 2011; PICANÇO, 2012; ROCHA, 2015; PROST et al., 2001), no entanto, estudos sobre aspectos sedimentares (como a análise granulométrica, teor de matéria orgânica e carbonato) são inexistentes. Estes estudos, contudo, são importantes, uma vez que podem indicar o comportamento do agente deposicional, o tipo de transporte e os ambientes deposicionais (DIAS, 2004) e essas informações, por sua vez, são relevantes para a identificação de zonas de acúmulo de poluentes e no gerenciamento e conservação de ambientes costeiros, como os manguezais e sua biodiversidade.

Este estudo baseou-se na hipótese de que o estuário do rio Mojuim é setorizado em função da influência flúvio-estuarino e do oceano Atlântico, de modo que no estuário superior há domínio das forçantes fluviais, permitindo a deposição de sedimento lamoso com maior teor de matéria orgânica, e na foz há domínio das forçantes marinhas, permitindo a deposição de sedimento arenoso com maior teor de carbonato.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi identificar o padrão de distribuição espacial dos sedimentos do fundo e os principais setores de deposição, condicionados pelas forçantes fluviais e marinhas, do estuário do rio Mojuim (São Caetano de Odivelas/PA).

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Identificar o padrão de distribuição espacial dos sedimentos do fundo e os principais setores de deposição recente, condicionados pelas forçantes fluviais e marinhas, do estuário do rio Mojuim (São Caetano de Odivelas/PA).

2.2 Objetivos específicos

- Determinar as características granulométricas do sedimento de fundo do estuário do rio Mojuim;
- Determinar a hidrodinâmica atuante no estuário do rio Mojuim, a partir do diagrama de Pejrup;
- Quantificar o teor de matéria orgânica e o carbonato do sedimento de fundo do estuário;
- Elaborar um mapa de setorização, indicando as regiões de influência fluvial e marinha do estuário do rio Mojuim, a partir da análise de estatística multivariada;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Estuários

Os estuários são corpos d'água semi-fechados com conexão com o mar, que recebem aportes d'água fluvial das bacias de drenagem continental, as quais se misturam com massas d'água marinhas introduzidas pelas marés (PRITCHARD, 1955). Esse ambiente apresenta forte produtividade biológica, definindo-se como uma zona de alimentação para numerosas formas juvenis de peixes. Além disso, para outras espécies migratórias, esses locais são um ponto de passagem entre o meio marinho e o fluvial (CUNHA, 2005).

Devido a sua localização geográfica (zona costeira), os estuários normalmente são áreas ideais para o desenvolvimento de cidades e, portanto, abrigam uma grande concentração populacional. Uma característica marcante das áreas estuarinas é o fato de serem pólos de desenvolvimento e concentração de numerosas atividades humanas.

Entre as atividades mais importantes está a implantação de sítios portuários, os quais são favorecidos por serem vias de penetração privilegiada para o interior do continente, servindo de trocas e intersecção entre os transportes marítimos, fluviais e terrestres, além disso, destacam-se as atividades de pesca, turismo, lazer (balneários), maricultura, entre outras (CUNHA, 2005).

3.1.1 Definição

Devido à complexidade dos estuários, diversas definições foram atribuídas a este ambiente considerando os seus aspectos geológicos, físicos, químicos e biológicos (BOYD et al., 1992; DALRYMPLE et al., 1992; DIONE, 1963; FAIRBRIDGE, 1980; KJERFVE, 1989; PERILLO, 1995; PRITCHARD, 1955). Neste estudo é considerado apenas as definições propostas por Pritchard (1955) e Dalrymple et al., (1992):

A definição científica mais conhecida de estuário é a proposta por Pritchard (1955), que o conceitua como “um corpo de água costeiro semifechado, estendendo-se até o limite efetivo da influência da maré. No seu interior, a água do mar, ou de qualquer outro corpo costeiro salino de água, é diluída significativamente com a água fluvial proveniente de drenagem continental, entrando por uma ou mais conexões com o oceano aberto”.

Uma definição de cunho geológico foi proposta por Dalrymple et al., (1992), que defini o estuário como “o limite mais à jusante de um vale afogado que recebe sedimentos

fluviais e marinhos e que contém fácies sedimentares influenciadas pela maré, pelas ondas e pelos processos fluviais. Esses autores consideraram a interação entre ondas, marés e vazão dos rios para os estuários de planície costeira, e os dividiu em dois tipos: dominados por ondas e dominados pela maré.

a) Dominados por Ondas

Nestes estuários, o regime de ondas é a forçante mais importante na determinação da morfologia e circulação do estuário, atuando junto à boca do estuário, onde erode e transporta os sedimentos das margens, depositando-os na forma de pontal ou barra arenosa.

Como as marés não apresentam força suficiente para retrabalhar os sedimentos no interior do estuário devido à restrição imposta pela barra arenosa, o estuário apresenta um delta a montante (na zona de maré do rio), onde predominam sedimentos arenosos terrígenos de origem fluvial; uma bacia central tipicamente estuarina (na zona de mistura), onde há deposição de sedimentos lamosos terrígenos de origem fluvial; e uma ligação com o mar altamente dinâmica devido à atuação de ondas, marés e de suas correntes (na parte externa da zona de mistura e na zona costeira), onde os sedimentos arenosos apresentam características marinhas. Este tipo de estuário apresenta praias associadas ao pontal arenoso formado pelas ondas.

b) Dominados por Marés

Como consequência das fortes correntes de maré, que dominam sobre o efeito das ondas, a boca do estuário é geralmente larga, com a presença de bancos sedimentares orientados na direção das correntes. Próximo à cabeceira do estuário, a influência das marés diminui e permite o domínio do fluxo fluvial.

A variação sedimentar de melhor visualização é a transversal ao eixo principal do estuário, onde o canal principal do estuário apresenta sedimentos mais arenosos, e as planícies de inundação e seus canais apresentam sedimentos mais lamosos. Este tipo de estuário apresenta mangues ou marismas associados às grandes áreas entremarés e aos bancos sedimentares.

3.1.2 Classificação Estuarina

Como a dinâmica dos estuários pode ser considerada mais complexa quando comparados com a dinâmica dos oceanos abertos e a do sistema fluvial, há uma dificuldade

para organizar e agrupar as características estuarinas e, assim, classificar os estuários similares em conjunto. Entretanto, atualmente, as classificações mais usadas são baseadas na geomorfologia, na estratificação salina e nos princípios dinâmicos (MIRANDA et al, 2002).

Nesse estudo é abordada apenas a classificação quanto à geomorfologia, que classifica os estuários como: estuários de planície costeira; estuários do tipo Fiorde; em forma de barra e estuários produzidos por processos tectônicos (FRAZÃO, 2003; MIRANDA et al., 2002)

a) Estuário de planície costeira

Esses estuários são típicos de regiões de planície costeira e são relativamente rasos, com máximo de 30m de profundidade. A topografia atual desses estuários tornou-se semelhante ao vale do rio devido ao processo de inundação que foi mais expressivo que o processo de sedimentação. Devido ao recente processo de sedimentação, o fundo é preenchido com lama e sedimentos finos na sua parte superior, os quais se tornam mais grossos em direção à foz.

É comum o canal central apresentar-se de forma sinuosa, além disso, a área da seção transversal em geral aumenta estuário abaixo, às vezes de forma exponencial, e a configuração geométrica da seção transversal tem a forma de V. A razão largura/profundidade em geral é grande e a razão de fluxo depende intensamente da descarga fluvial e da altura da maré.

b) Fiorde ou Fjord

Os estuários do tipo Fiorde ou Fjord são sistemas profundos e apresentam a razão largura/profundidade relativamente pequena, quando comparada aquela dos estuários de planície costeira, além disso, têm seção transversal retangular, apresentando forma de leito em U.

c) Em forma de Barra

Esses estuários estão associados a regiões costeiras que podem sofrer processos erosivos com facilidade, produzindo grandes quantidades de sedimento que são retrabalhados pelas ondas e transportados por correntes litorâneas. Foram formados pela inundação de vales de rios primitivos durante a transgressão marinha no Holoceno, mas a sedimentação recente ocasionou a formação de barras na foz.

Em geral, são rasos com profundidade máxima de 20-30m podendo apresentar canais e lagunas extensas no seu interior. O rio ou sistema de rios podem transportar grande concentração de sedimentos em suspensão, ocasionando alterações sazonais na geometria da barra.

3.2 Sedimento estuarino

A morfologia dos estuários é modificada constantemente pela erosão e deposição de sedimentos, proporcionando a eles um tempo de vida curto na escala geológica, além disso, podem sofrer alterações drásticas em função do aumento ou da redução do nível dos oceanos (MIRANDA et al, 2002). Assim, a existência de ambientes estuarinos é função do balanço entre as flutuações do nível do mar e o volume de sedimento carregado pelos rios (CUNHA, 2005).

A região estuarina apresenta sedimentos de diversas origens, englobando a lixiviação da bacia de drenagem, plataforma continental, atmosfera, erosão dentro do corpo estuarino e sedimentos oriundos de atividade biológica. Assim, a natureza das fácies sedimentares é controlada pela quantidade e qualidade dos sedimentos disponíveis, pela interação dos processos hidrodinâmicos e pela geomorfologia do fundo (MIRANDA et al., 2002).

O transporte dos sedimentos, através do estuário, até que alcancem a região costeira é controlado pelo aporte fluvial de sedimentos e pelo padrão de circulação estuarino. Os sedimentos transportados pelas águas estuarinas normalmente englobam uma variedade de tamanhos de menos de 0,002mm para mais de 4mm, mas os tamanhos mais finos dominam a maioria dos estuários (McNALLY e MEHTA, 2004).

A análise das dimensões das partículas do sedimento pode indicar o comportamento do agente deposicional, o tipo de transporte e os ambientes deposicionais. Desse modo, pode-se presumir que sedimentos mais grossos e bem selecionados são encontrados em ambientes submetidos a níveis de energia mais fortes, enquanto que sedimentos mais finos e mal selecionados são encontrados em ambientes em baixo nível de energia (DIAS, 2004).

O método granulométrico mais conhecido e divulgado para efetuar a análise dos grãos mais grossos é o método de peneiramento. Este método é largamente aplicado em estudos de geologia marinha (BAPTISTA NETO et al, 2004; DIAS, 2004), e consiste na separação da amostra em frações através de peneiras com diâmetros de poros conhecidos, para posterior análise estatística baseada nos diagramas de Pejrup (1988), Shepard (1954) e na classificação de Folk e Ward (1957).

Para tal estudo é necessária à utilização de uma escala. As primeiras a serem utilizadas foram as escalas milimétricas, porém posteriormente foi desenvolvida a escala logarítmica de Wentworth (1922) (tabela 1), designada como “escala Φ (phi)” que facilitou a aplicação dos métodos estatísticos convencionais à sedimentologia, tendo ampla aceitação pela comunidade científica.

Tabela 1- Tabela de classificação de Wentworth de 1922.

Classificação de Wentworth	Escala em Φ (phi)	Escala em mm	Classificação Verbal
Bloco	-9	512	Seixo
	-8	256	
Matacão	7	128	
	-6	64	
	-5	32	
Seixo	-4	16	Cascalho muito grosso
	-3	8	Cascalho grosso
	-2	4	Cascalho médio
Cascalho	-1	2	Cascalho fino
Areia muito grossa	0	1	Areia muito grossa
Areia grossa	1	0.500	Areia grossa
Areia média	2	0.250	Areia média
Areia fina	3	0.125	Areia fina
Areia muito fina	4	0.0625	Areia muito fina
Silte grosso	5	$31\mu^*$	Silte grosso
Silte médio	6	$15.6\mu^*$	Silte médio
Silte fino	7	$7.8\mu^*$	Silte fino
Silte muito fino	8	$3.9\mu^*$	Silte muito fino
Argila grossa	9	$2\mu^*$	Argila grossa
Argila média	10	$0.98\mu^*$	Argila média
Argila fina	11	$0.49\mu^*$	Argila fina
Argila muito fina	12	$0.24\mu^*$	Argila muito fina
Colóide	13	$0.12\mu^*$	Colóide

* $\mu = 0,001\text{mm}$

Fonte: Dias (2004)

A classificação de Folk (1954), demonstra o percentual de distribuição dos grãos em cascalho ($>2\text{mm}$), areia (2 a 0.063 mm) e lama ($< 0.063\text{ mm}$). Essa classificação baseia-se em dois diagramas triangulares, um principal, dirigido aos sedimentos mais grosseiros (Figura 1a) e outro complementar, direcionado para sedimentos finos (Figura 1b). A classificação dos

sedimentos lamosos é efetuada segundo o conteúdo percentual de areia (fronteiras de 10%, 50% e 90%) e a proporção argila/silte (limites de 2:1 e 1:2).

O diagrama de Shepard (1954) (Figura 1c) determina a granulometria do sedimento, baseando-se em um diagrama triangular, com seus três componentes principais dispostos em cada vértice do triângulo: areia, silte e argila. O esquema de Shepard é puramente descritivo, não existindo quaisquer preocupações hidrodinâmicas (DIAS, 2004).

De acordo com a escala quantitativa proposta Folk e Ward (1957) o grau de seleção dos sedimentos depende das suas dimensões e reflete as características do ambiente como a competência do rio, corrente, e a sua distribuição. Em sedimentos grosseiros (frações de areia) essa seleção é facilmente evidenciada, enquanto em sedimentos finos (silte e argila) é restrita.

O parâmetro assimetria tem sido usado com grande eficácia na identificação de ambientes em que predomina a deposição (assimetria positiva) e remoção seletiva (assimetria negativa) (DUANE, 1964).

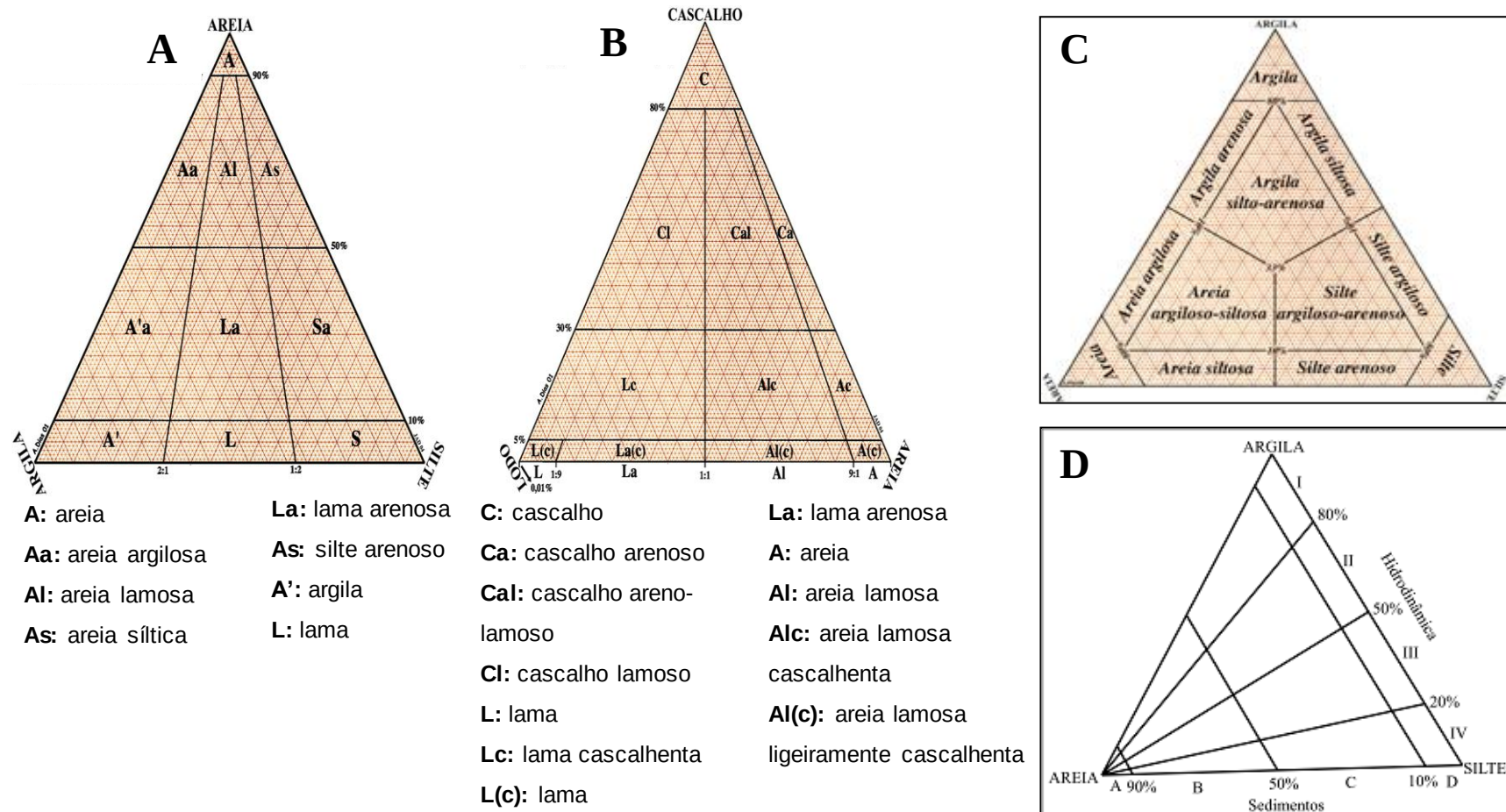
A curtose é uma medida que se baseia nas curvas de distribuição de frequência, definindo em que parte dessa curva está concentrada a maior uniformidade dos grãos conforme método elaborado por Folk e Ward (1957). De acordo com Ponçano (1986), os valores de curtose podem indicar diferentes significados quando se trata de interpretar o ambiente de acordo com parâmetros estatísticos granulométricos. Assim, as curvas leptocúrticas se relacionam a sedimentos unimodais, que podem estar associados a uma hidrodinâmica mais intensa (maior movimentação). Já as curvas platicúrticas se referem a sedimentos bimodais ou polimodais, relacionados a ambientes menos energéticos (menor movimentação).

O diagrama de Pejrup (Figura 1d) é utilizado para indicar as condições hidrodinâmicas do ambiente de sedimentação. Ele é dividido em 16 grupos, nomeados por letras, que indicam o tipo de sedimento, e por números, que indicam as condições hidrodinâmicas reinantes durante a deposição. De acordo com Corrêa (2005), Pejrup (1988) utiliza o teor de argila presente nos sedimentos para delimitar as áreas de seu diagrama.

Os sedimentos estuarinos com teores de argila maior que 80%, na fração lama, são pouco frequentes e caracterizam ambientes de baixa energia. Por razão simétrica a linha que corresponde a 20% de argila, na fração lama, é utilizada para representar ambientes de energia mais elevada e, finalmente a linha de 50% de argila, na fração lama, é utilizada para dividir a seção média do diagrama em duas partes iguais.

Desta maneira o diagrama proposto fica dividido em quatro seções. A seção I caracteriza ambientes com condições hidrodinâmicas muito baixas, enquanto que as seções II, III e IV, caracterizam ambientes com aumento gradativo da energia. A divisão do diagrama nas seções A, B, C e D é efetuada a partir do conteúdo de areia presente nos sedimentos. A linha de 10% de areia é escolhida por Pejrup (1988), pelo motivo que tal conteúdo de areia em sedimentos lamosos é insignificante em termos de dinâmica ao passo que a linha de 90% de areia foi escolhida devido à perda do caráter coesivo por sedimentos com tais características. Finalmente a linha de 50% de areia foi escolhida para dividir o grupo central em duas partes iguais.

Figura 1- Diagrama Folk de 1954, (a) diagrama principal e (b) complementar. c) Diagrama de Shepard de 1954. d) Diagrama Pejrup de 1988.



Fonte: Dias (2004) (a,b e c) e Corrêa (2005) (d).

3.3 Matéria orgânica (MO)

Segundo Suguio (1998), matéria orgânica (MO) corresponde a um composto carbonoso resultante de mudanças diagenéticas de substâncias orgânicas, que transformam uma matéria orgânica imatura (rica em substâncias voláteis) em matéria orgânica matura (pobre em substâncias voláteis).

A matéria orgânica do sedimento, especificamente, é composta pela fração carbonosa de solo de origens vegetal e/ou animal, transformada no interior do solo por processos físicos, químicos ou biológicos. Ela tem uma grande importância na estabilidade do sedimento, principalmente em áreas intermarés.

No sedimento lamoso a MO existe na forma particulada e dissolvida, podendo ser alóctone, quando originada fora da área de sedimentação, ou autóctone, ocorrendo dentro do sedimento por processos biológicos.

A MO alóctone (material transportado) é degradada durante o processo de transporte e pode ser composta por materiais mais resistentes, como a lignina. A MO autóctone (material que não sofreu transporte) é produzida e utilizada através de processos metabólicos de organismos (WINTERWERP et al, 2004).

A MO atua diretamente sobre as características físicas, químicas e biológicas dos solos, sendo considerado um fator fundamental para a manutenção da capacidade produtiva dos solos, aumentando a atividade de microorganismos em qualquer ecossistema terrestre. Fisicamente, a MO melhora a estrutura do solo, reduz a plasticidade e coesão, aumenta a capacidade de retenção de água e a aeração, permitindo maior penetração e distribuição das raízes (SOARES et al, 2009).

O teor de MO pode ser quantificado através do método de calcinação, que consiste na queima de uma subamostra de sedimento a uma determinada temperatura. A diferença entre a massa antes e depois da calcinação é atribuída ao teor de MO em porcentagem da amostra.

3.4 Carbonato de cálcio (CaCO₃)

O carbonato está presente em abundância em águas marinhas. Nas plataformas continentais, alguns fatores que controlam a precipitação do carbonato de cálcio são a biologia dos organismos, penetração de luz, temperatura e circulação da água, salinidade e oxigenação. A acumulação do CaCO₃ é principalmente processada por

organismos bentônicos como moluscos, foraminíferos bentônicos, briozoários, biocenoses coralinas, etc.

Os foraminíferos planctônicos são, possivelmente, os principais responsáveis pela transferência de CaCO_3 da água do mar para os depósitos sedimentares. Esta é uma das formas mais eficazes de “imobilizar” o dióxido de carbono (CO_2). O CO_2 é transportado da atmosfera para as águas oceânicas através da atividade dos organismos planctônicos que o integram nas suas carapaças, e posteriormente é transferido, sob a forma de carbonato, para os sedimentos do fundo, onde fica armazenado.

A solubilidade do CaCO_3 é influenciado por fatores físico-químicos como a temperatura, salinidade e pressão, especialmente quando há aumento da pressão e diminuição da temperatura e salinidade (DIAS, 2004).

Os métodos mais utilizados para determinar o teor de carbonato em amostras de sedimento são o proposto por Sugiuo (1973), que consiste na queima das amostras com ácido clorídrico (HCl) 10% e o método de calcinação (modificado de Dean, 1974), no qual uma certa quantidade da amostra é aquecida na mufla a uma temperatura de 1000° durante 1 hora. Para a classificação dos sedimentos quanto o teor de carbonato considera-se a tabela de Larssonneur (1977), tabela 2.

Tabela 2- Composição dos sedimentos quanto ao teor de carbonato segundo a classificação proposta por Larssonneur de 1977.

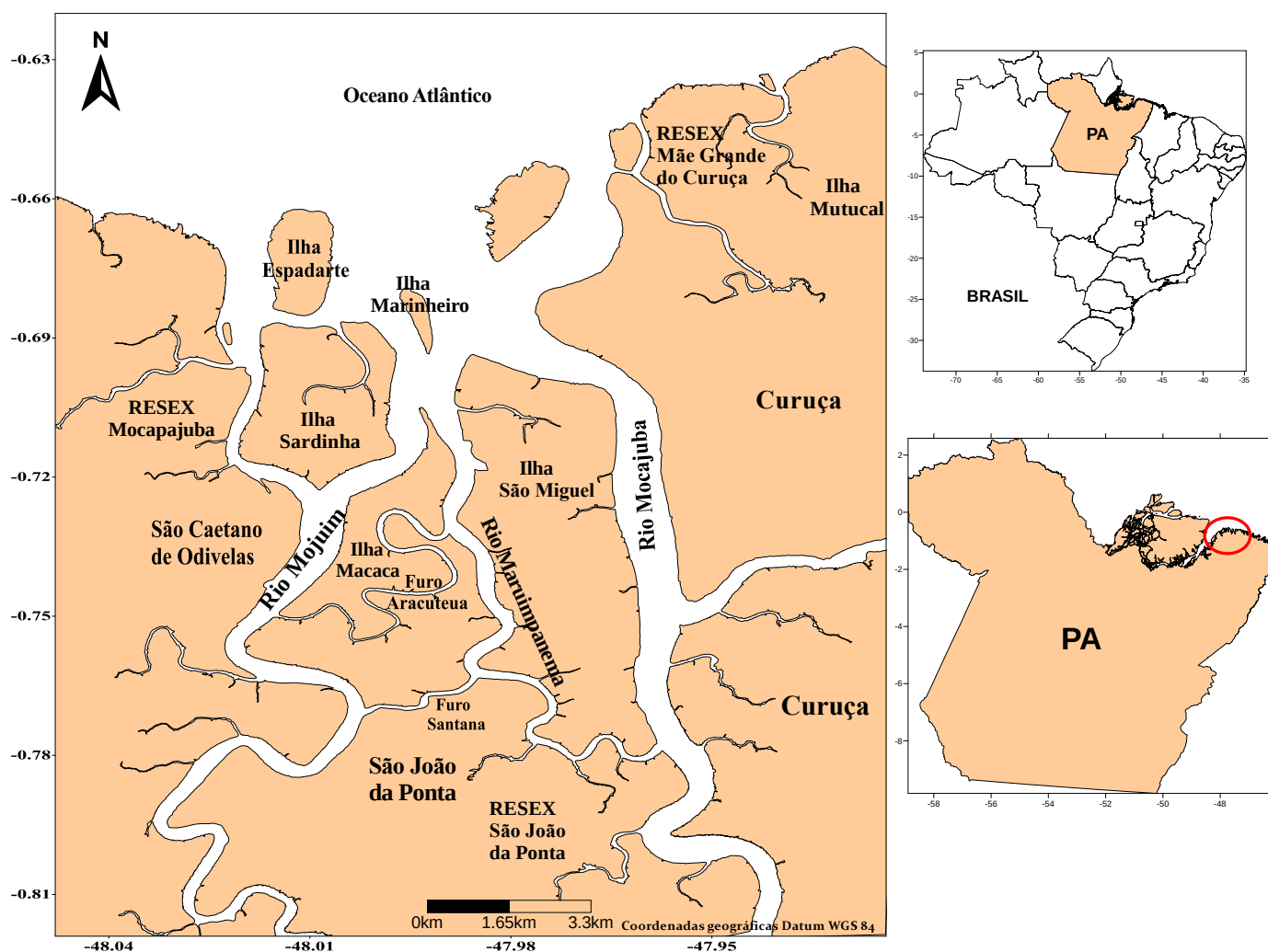
Principais Divisões	% de Carbonato
Sedimento Litoclástico	< 30
Sedimento Litobioclástico	de 30 a 50
Sedimento Biolitoclástico	de 50 a 70
Sedimento Bioclástico	> 70

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estuário do rio Mojuim está localizado no município de São Caetano de Odivelas que faz parte da Mesorregião do Salgado, nordeste do Pará, localizado nas coordenadas geográficas de latitude -0.747390° e longitude -48.025106° (figura 2). O município está localizado a uma distância de 97 km de Belém e a principal via de acesso é feita pela rodovia PA 140. O estuário do rio Mojuim banha os municípios de São Caetano de Odivelas e São João da Ponta e Curuçá. O estuário deságua diretamente no Oceano Atlântico e recebe influência do rio Mocajuba.

Figura 2-Mapa de localização do estuário do rio Mojuim, São Caetano de Odivelas/PA.



Fonte: O Autor

4.1.1 Geologia

Os terrenos do município (figura 3a) são muito recentes na escala do tempo geológico, a menos de dois milhões de anos. Desconsiderando-se a área de água, todo o território do município pertence ao Período Neogeno, sendo que 26,9% pertencem à Época Holoceno (mais recente) e 73,1% a Época Pleistoceno (mais antiga) (MMA, 2014).

O Pleistoceno é caracterizado por uma cobertura detrito-laterítica que apresenta as seguintes características: sedimentos argilo-arenosos amarelados, caoliníticos, alóctones e autóctones, parcial a totalmente pedogenizados, gerados por processos alúvio-coluviais.

O Holoceno é caracterizado principalmente pelos depósitos de pântanos e mangues, constituídos por sedimentos predominantemente pelíticos, argilo-siltosos, com muita matéria orgânica, restos de madeira e conchas, em ambiente flúvio-marinho e/ou litorâneo. Menos expressivos são os depósitos marinhos litorâneos, que são os depósitos arenosos de praias e restingas atuais da área amazônica, compostos por areias bem classificadas, inconsolidadas, de granulação fina a média e contendo restos de animais (MMA, 2014).

4.1.2 Geomorfologia

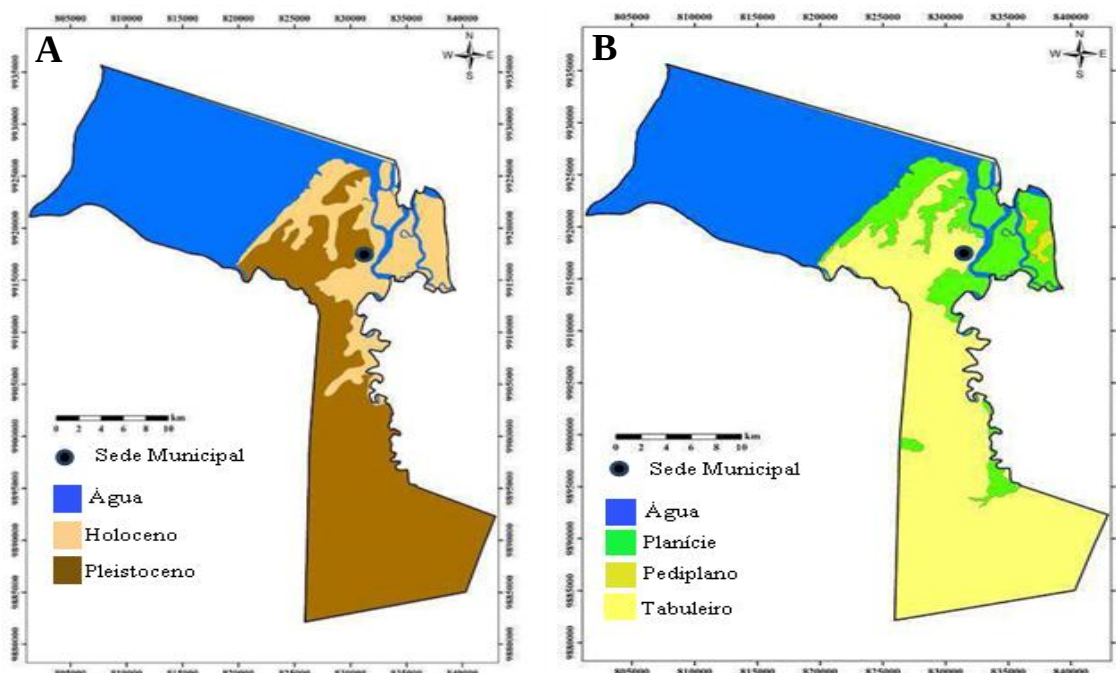
O município de São Caetano de Odivelas encontra-se compartimentado em três classes: Tabuleiro, Planície e Pediplano (figura 3b). Os Tabuleiros cobrem a maior parte do município com 76,7%; a Planície é a segunda classe em importância com 22,4%, e o Pediplano, é a classe de menor área com apenas 1% do território.

Os Tabuleiros são em geral definidas por vales rasos, apresentando vertentes de baixa à média declividade, resultante da instauração de processos de dissecação atuando sobre a superfície de aplainamento (IBGE, 2008).

A Planície é uma área plana resultante da combinação de processos de acumulação fluvial e marinha, sujeita ou não a inundações periódicas, podendo comportar canais fluviais, manguezais, cordões arenosos e lagunas. Ocorre nas baixadas litorâneas, próximo às embocaduras fluviais (IBGE, 2008). Nesta classe encontram-se tanto as planícies flúvio-marinhas (áreas de mangue), quanto às planícies marinhas (praias) (MMA, 2014).

Os Pediplanos são superfícies terrestres desgastadas pela erosão. No município de São Caetano de Odivelas as áreas de “terra firme” rodeadas por áreas de mangue, que são comumente denominadas de “ilhas”, são, em geral, Pediplanos.

Figura 3- Distribuição da Geologia (a) e da Geomorfologia (b) do município de São Caetano de Odivelas/PA.

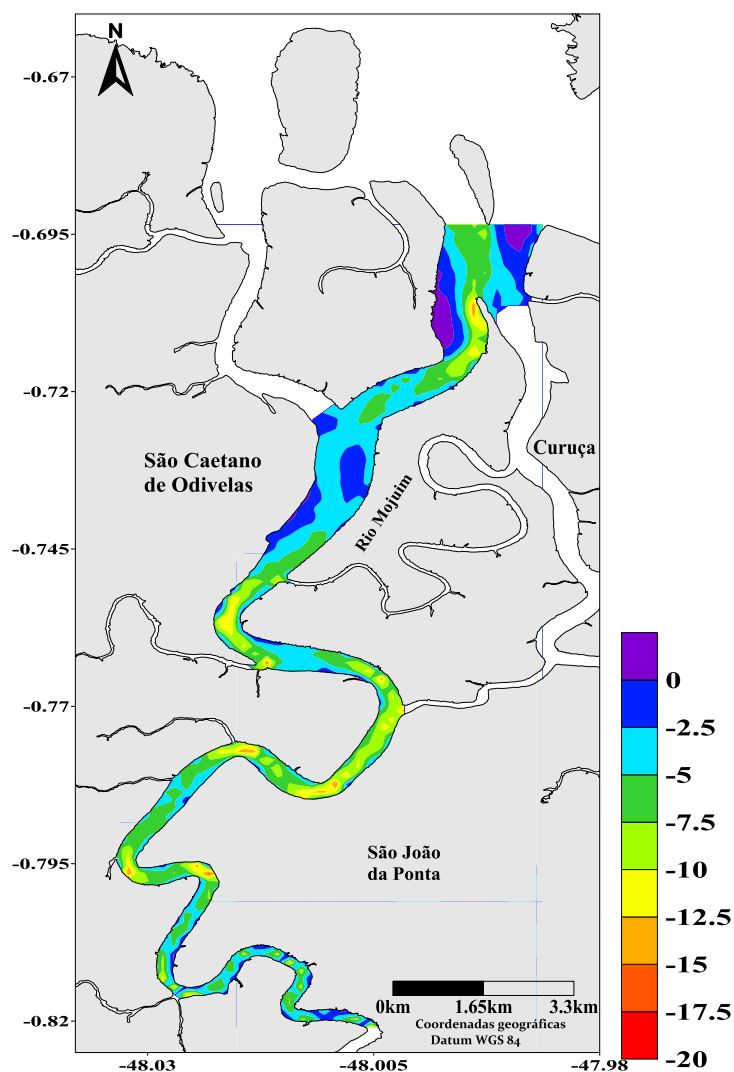


Fonte: MMA (2014).

Geomorfologicamente, a região do litoral paraense, onde se encontra o rio Mojuim, é formada por vales fluviais parcialmente submersos, em decorrência do aumento do nível mar durante o Holoceno (PROST et al, 2001).

O estuário do rio Mojuim apresenta forma meandrante e é composto por regiões côncavas mais profundas do que as convexas, com profundidade média de 4,5m (figura 4) (ROCHA, 2015).

Figura 4- Batimetria do rio Mojuim.



Fonte: Modificado de Rocha (2015).

4.1.3 Hidrografia

Os rios que limitam o município de São Caetano de Odivelas encontram-se no sentido sul-norte, desaguando no Atlântico (conforme mostrado na figura 2). O rio Mojuim forma toda a bacia hidrográfica do município; após entrar no território de São Caetano, a sudeste, segue em direção norte e deságua no Oceano Atlântico. Destaca-se, também, o rio Mocajuba, que banha além do município de São João da Ponta, a vila de Boa Vista localizada no município de São Caetano de Odivelas e serve de limite natural, a leste, com o município de Curuçá; e o rio Barreta, a noroeste, que verte para o Atlântico e serve de limite natural com o município de Vigia.

Outro componente importante da hidrografia do município são os chamados “furos”, que ocorrem nas áreas mais baixas, próximas ao litoral. Esses “furos” são

canais naturais, geralmente utilizados como “atalhos” na navegação flúvio-marinha. Dentre os furos, destacam-se Aracuteua e Santana (MMA, 2014).

4.1.4 Vegetação

A vegetação da região de São Caetano de Odivelas é dividida em quatro tipos: vegetação de restinga, vegetação de mangue, vegetação de campo natural inundável e vegetação secundária. Essa diversidade é devida, em parte, a influência que recebe da dinâmica estuarina e fluvial (PICANÇO, 2012).

A classe de cobertura predominante no município é a Floresta (áreas com fisionomia florestal, principalmente áreas de mangue), cobrindo 44,7% da área do município, com um extenso ecossistema de manguezal que compreende a uma área de 4.500Km de extensão (MACIEL, 2009); ficando a classe agropecuária em segundo lugar, representando 38,2% do município. A terceira classe em importância é a vegetação secundária, que inclui as capoeiras (porte arbóreo) e as juquiras (porte arbóreo/arbustivo), respondendo por 14,5% da área do município (MMA, 2014).

4.1.5 Clima

O clima da região é equatorial amazônico do tipo Am, segundo a classificação de Köppen. A região apresenta temperatura média anual é de 27 °C com pequena amplitude térmica e média de precipitação anual de 2.500mm (MARTORANO, 1993).

A variação temporal de precipitação compreende dois períodos, o período de alto índice pluviométrico, que ocorre, geralmente, nos meses de janeiro a julho, com média de 1.657mm e, o período de baixo índice pluviométrico nos meses de agosto a dezembro, com média de 487mm (MORAES et al., 2005).

4.1.6 Aspectos Oceanográficos

Na costa nordeste do Estado do Pará as marés são um importante fator costeiro e se caracterizam como do tipo macromaré, de natureza semidiurna, com amplitude máxima de 5,5m (dados do Fundeadouro de Salinópolis), amplitude média de 4,8m na maré de sizígia e 2,5m no período de quadratura. Como agente geológico, as marés desempenham importante papel no transporte de sedimentos no litoral paraense e sua influência se faz sentir cerca de 8 a 10 milhas da linha da costa (DHN, 1994). O estuário do rio Mojuim, especificamente, está sob o regime de macromarés semidiurnas, com

amplitude de 5m (ROCHA, 2015), de modo que essa macromaré é observada na desembocadura e sofre atenuação estuário acima (SANTOS, 2016).

Rocha (2015) analisou a salinidade do estuário do rio Mojuim a partir três estações de coleta em período sazonal e observou que no período chuvoso, o estuário encontra-se homogêneo com média de $9,5 \pm 0,2$ na preamar e $6,7 \pm 0,2$ na baixa-mar. No período seco é observada uma estratificação na coluna d'água, de modo que na preamar a média da salinidade na superfície e fundo é de $23,69 \pm 0,2$ e $27,22 \pm 0,2$, respectivamente, e na baixa-mar a média é de $19,76 \pm 0,2$ e $20,48 \pm 0,2$.

Segundo Rocha (2015), no período chuvoso as velocidades de correntes no estuário do rio Mojuim variam de $-0,2 \text{ m.s}^{-1}$ a $-1,3 \text{ m.s}^{-1}$ (enchente) e $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ a $1,8 \text{ m.s}^{-1}$ (vazante), enquanto no período seco as velocidades de correntes variam de $-0,4 \text{ m.s}^{-1}$ e $-1,9 \text{ m.s}^{-1}$ (enchente) e $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ e $1,67 \text{ m.s}^{-1}$ (vazante).

O estuário do rio Mojuim apresenta-se como do tipo importador com vazão de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ (SANTOS, 2016).

Quanto ao transporte de material particulado em suspensão (MPS), o estuário do rio Mojuim funciona como exportador para o Atlântico nos dois períodos, com 6,5 a 7,9 mil toneladas no período chuvoso e 5,25 a 5,63 mil toneladas no período seco (MEDEIROS, no prelo).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Amostragem

As coletas de sedimento foram realizadas nos dias 15 e 16 de novembro de 2014, correspondendo ao período de menor índice pluviométrico. Definiu-se 117 estações de coleta de sedimento ao longo do rio Mojuim com distância latitudinal de 500m de um ponto a outro e longitudinal de acordo com a largura do rio, considerando um ponto no canal e outros dois nas margens (figura 6). As coordenadas geográficas dos pontos de coleta de sedimento foram definidas e exportadas para o GPS que foi utilizado na execução do trabalho em campo.

As amostras de sedimento foram coletadas com auxílio de uma draga de Van Veen (figura 5a) e colocadas em uma basqueta de acrílico (figura 5b), posteriormente, acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados (figura 5c). Foram coletados aproximadamente 500g de sedimento para análises da granulometria e quantificação do teor de matéria orgânica e carbonato de cálcio.

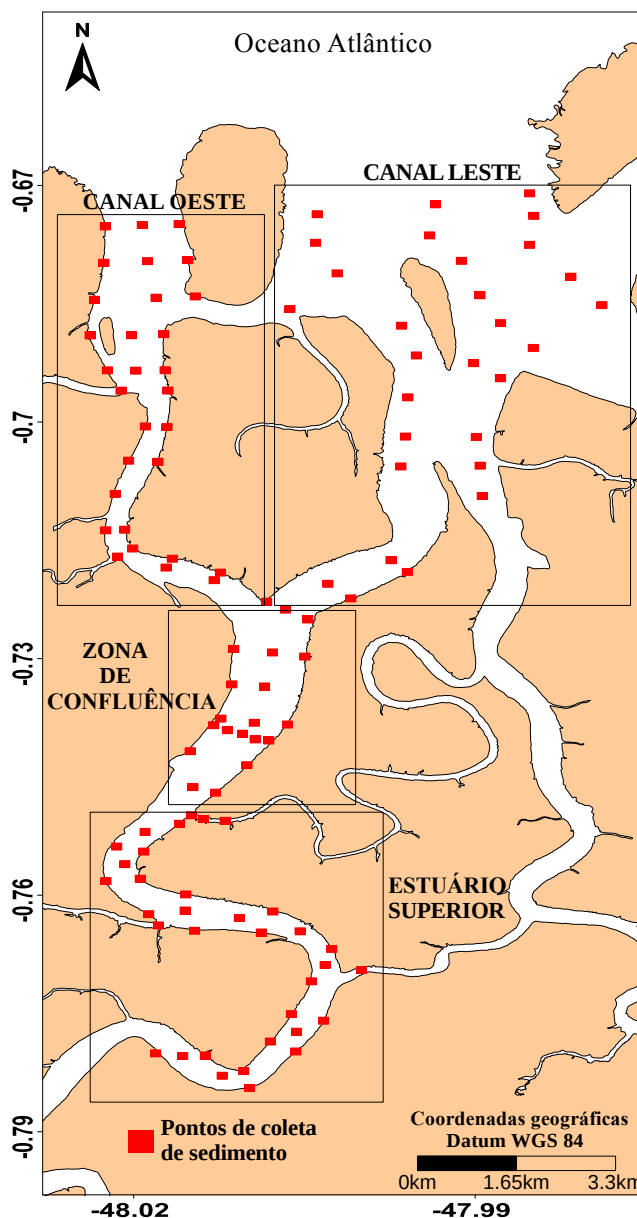
Para melhor visualização e discussão dos dados, nesse estudo, o estuário do rio Mojuim foi dividido em quatro zonas: canal oeste, canal leste, zona de confluência e estuário superior (figura 6).

Figura 5- Técnicas de amostragem de sedimento. a) Dragas de Van Veen; b) Amostra colocada na basqueta e c) Acondicionamento da amostra.



Fonte: Autor.

Figura 6- Mapa de distribuição das estações de coleta de sedimento e divisão das zonas ao longo do estuário do rio Mojuim, São Caetano de Odivelas/PA.



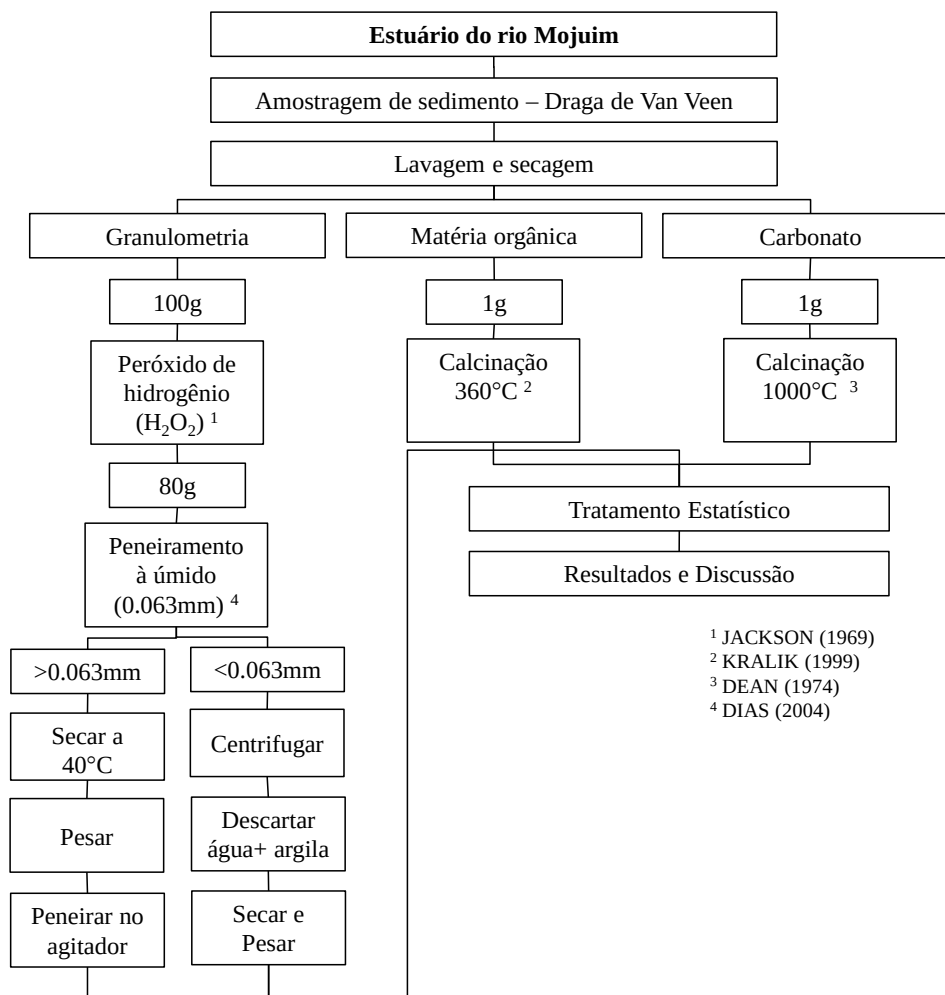
Fonte: Autor.

5.2 Análises Laboratoriais

Em laboratório, foram retirados subamostras de 150g de sedimento para a análise granulométrica e refrigerados 50g para a quantificação de matéria orgânica e carbonato de cálcio. Todas as subamostras de sedimento foram lavadas três vezes para a retirada do sal. Após a lavagem, as amostras de sedimento foram secas na estufa a 30°C, posteriormente, qualificadas quanto à granulometria, e quantificadas quanto ao teor de matéria orgânica e carbonato de cálcio.

Na figura 7 é mostrado o fluxograma com as estratégias de amostragem e métodos analíticos adotado neste trabalho.

Figura 7- Fluxograma de amostragem e métodos analíticos adotados.



¹ JACKSON (1969)

² KRÁLIK (1999)

³ DEAN (1974)

⁴ DIAS (2004)

5.2.1 Granulometria

Inicialmente, a matéria orgânica foi removida das amostras de sedimento por imersão de Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) a 30%, de modo que, 100 g da amostra de sedimento (P0) foram colocados em béqueres e imersos a aproximadamente 20mL de H_2O_2 (30%), havendo necessidade de homogeneizar com um bastão de vidro para acelerar a reação e verificar a necessidade de acréscimo de reagente (JACKSON, 1958).

Após a eliminação da matéria orgânica as amostras foram lavadas no mínimo três vezes, com água destilada, para remoção do reagente, em seguida, desidratadas a luz natural. Após a desidratação, as amostras foram maceradas e quarteadas, e retirado 80g de sedimento para posterior análise da granulometria.

As amostras arenosas foram colocadas em um jogo de peneiras em ordem de 2.000, 1.000, 0.500, 0.250, 0.125, 0.063 e < 0.063mm e peneiradas no agitador do tipo *Ro-tap* por 10 minutos em uma frequência de 3 Hz (figura 8a). Após o peneiramento, as amostras contidas nas peneiras foram pesadas e acondicionadas em sacos plásticos previamente identificados quanto ao tamanho dos grãos.

As amostras lamosas (silte e argila) foram separadas à úmido em uma peneira com abertura de 0.063mm (figura 8b), em seguida, foi adicionado pirofosfato de sódio a 10%, em cada amostra, para que a argila ficasse em suspensão. Posteriormente, as amostras foram agitadas na centrífuga por dois minutos a 1000rpm, para a decantação da fração silte (figura 8c). O sobrenatante (água + argila) foi retirado e o material decantado (silte) foi seco e pesado, dessa forma, por diferença de peso foi obtido o teor de argila.

Figura 8- Métodos de análise de granulometria a) Agitador Ro-tap; b) Peneiramento à úmido; c) Centrífuga.



Fonte: Autor.

5.2.2 Matéria orgânica

O teor de matéria orgânica nas amostras de sedimento foi obtido através do método de calcinação. O método de adição de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) foi utilizado apenas para eliminar a matéria orgânica das amostras de sedimento, antes da análise granulométrica.

5.2.2.1 Método de Calcinação

O método de calcinação (KRALIK, 1999) consiste na queima do material orgânico contido na amostra de sedimento. Aproximadamente 1g (P_1) das amostras secas, foram colocadas em cadinhos de porcelana, previamente desumidificados na

mufra a 100°C por 1 hora e tarados (P_0). Em seguida, os cadinhos com as amostras foram conduzidos a mufla, pré-aquecida a 360°C, por 2 horas.

Após a queima, os cadinhos foram colocados no dessecador por 1 hora e posteriormente pesados (P_2) em uma balança de precisão. Para a obtenção do teor de matéria orgânica, os dados obtidos foram aplicados a seguinte equação:

$$\%MO = [(P_0 + P_1) - P_2] \times 100$$

Onde:

P_0 = peso do cadinho

P_1 = peso da amostra (1g)

P_2 = peso final

5.2.3 Carbonato de Cálcio ($CaCO_3$)

A determinação do teor de carbonato de cálcio foi obtida através do método de calcinação.

5.2.3.1 Método de Calcinação

Após a obtenção do teor de matéria orgânica por calcinação, os cadinhos contendo as amostras retornaram a mufla, dessa vez, aquecidos a 1000°C por 1 hora (modificado de Dean, 1974). Posteriormente, os cadinhos foram levados ao dessecador por 2h e, em seguida, pesados para obtenção do peso final. O teor de carbonato foi obtido através da seguinte equação:

$$\%CaCO_3 = (P_2 - P_3) \times 100$$

Onde,

P_2 = peso da queima de MO à 360°C.

P_3 = peso da queima de $CaCO_3$ à 1000°C.

5.3 Tratamento Estatístico

5.3.1 Análise Sedimentológica

Os resultados da análise granulométrica foram planilhados no Microsoft Office Excel e exportados para o programa Sysgran 3.0, para gerar os diagramas de Pejrup (1988) e Shepard (1954) e a tabela de classificação de Folk e Ward (1957).

A partir dos resultados obtidos dentro dessas classificações foram confeccionados no programa *Surfer*, mapas de distribuição de algumas classificações e características sedimentares como: classificação de Wentworth (1922), Folk (1954), Shepard (1954), Pejrup (1988) e características do grau de seleção, assimetria, curtose, matéria orgânica e carbonato, a fim de delimitar as zonas de influência fluvial e marinha, a partir dessas variáveis sedimentológicas.

5.3.2 Setorização

Os dados sedimentológicos obtidos foram analisados estatisticamente no *software* Origin 2015 (*Graphing e Analysis*), aplicando-se as técnicas de Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*) e Análise de Componente Principal (PCA – *Principal Components Analysis*). As seguintes variáveis foram utilizadas para a realização dessas análises: granulometria média, desvio padrão, assimetria, porcentagem de areia, porcentagem de lama, porcentagem do teor de matéria orgânica e carbonato.

Em estudos de setorização e classificação de subambientes estuarinos e lagunares é comum à utilização dessas variáveis sedimentológicas (RUDORFF et al., 2005; SILVA, 2002; VIEIRA et al., 2008), podendo estar associadas também a variáveis físicas, químicas e biológicas (MILAN, 2010; OLIVEIRA, 2004; SOUZA, 2007). Nesse contexto, acredita-se que estas variáveis são as que melhor definem o comportamento sedimentológico da área de estudo.

Estas variáveis possuem diferentes escalas de mensuração, sendo necessária uma padronização, uma vez que não podem ser diretamente comparadas. Desse modo, todas as variáveis passaram a ter média zero e variância unitária, alcançado pela transformação dos dados em valores de “z”, através da seguinte equação (LANDIM, 2000):

$$z = \frac{x - x'}{s}$$

Onde x é o valor original do dado, x' é a média da distribuição e s seu desvio padrão.

A Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*) tem como objetivo avaliar as similaridades entre as amostras, redefinindo-os em grupos através de agrupamentos homogêneos de itens representados por pontos num espaço n dimensional em um número conveniente de grupos, relacionando-os através de coeficientes de similaridade ou de distância (LANDIM, 2000).

Os descritores selecionados foram analisados segundo o coeficiente do quadrado da distância euclidiana, de modo a agrupar os pontos de coleta de acordo com suas semelhanças sedimentológicas, de modo que quanto menor for o valor da distância, maior é a similaridade entre os pontos. A variância mínima, também conhecida como método de Ward, foi a estratégia de agrupamento adotada. A formação dos grupos amostrais, denominados como subambientes, está representada na forma de dendrograma, com um nível de corte estabelecido através do melhor ajuste espacial dos grupos na área de estudo.

A Análise de Componente Principal (PCA) consiste de um método que procura reduzir um grande número de variáveis em um número menor de componentes importantes, que exprimem a maior parte de uma matriz de dispersão de um conjunto de amostras (LEGENDRE; LEGRENDRE, 1983 apud MAHIQUES, 1987). Dessa forma, a PCA visou o diagnóstico descritivo da estrutura do conjunto de dados e a ordenação dos descritores em gradientes dentro deste conjunto.

A PCA estabelece, com base em uma matriz de semelhança, um conjunto de eixos perpendiculares. Dessa maneira, a partir de uma matriz de correlação entre n variáveis, são calculados n eixos fatoriais com comprimento decrescente em razão da sua contribuição à variância total dos dados (LANDIM, 2000). O primeiro autovalor determinado corresponde à maior porcentagem da variabilidade total presente no conjunto de dados e assim sucessivamente. Geralmente, os três primeiros autovalores encontrados explicam a maior parte da variabilidade presente.

O resultado da PCA é um sistema de coordenadas (eixos), o que proporciona melhor visualização das informações sobre as semelhanças sedimentológicas em um grupo de amostras. Como sugerido por Valetim (2000), a PCA foi aplicada em paralelo com o método de agrupamento, sendo possível identificar a ordenação das variáveis que tiveram o maior peso no agrupamento dos casos. Optou-se por interpolar os dados pelo método de krigagem (kriging), que vem sendo muito utilizado em estudos sedimentológicos de estuários e plataformas continentais.

6 RESULTADOS

6.1 Análise Textural

Baseado na classificação de Wentworth (1922), figura 9a, os sedimentos de fundo do estuário do rio Mojuim são constituídos, em geral, por material fino (areia fina a lama) ocorrendo em 110 das 117 amostras analisadas (94%), ou seja, em praticamente toda extensão do estuário do Rio Mojuim. Os sedimentos de fração média foram predominantes em apenas 7 amostras (5,9%), localizadas no canal leste.

Em relação ao material fino, a fração de areia muito fina e areia fina foram encontradas em 40 (34,1%) e 20 (17%) amostras, respectivamente, ambas com predominância respectiva no canal leste e na zona de confluência. A fração silte foi predominante em 37 amostras (31,6%), distribuídas ao longo do rio Mojuim, exceto no canal leste. A fração argila esteve presente em 13 amostras (11,1%), sendo predominante na zona de estuário superior.

De acordo com a classificação de Folk (1954), os sedimentos de fundo do estuário do rio Mojuim apresentaram predominância de areia muito fina, presente em 35 das 117 amostras (29,9%), predominante no canal leste do estuário; e silte médio, presente em 33 amostras (28,2%), predominante na zona do estuário superior (Figura 9b).

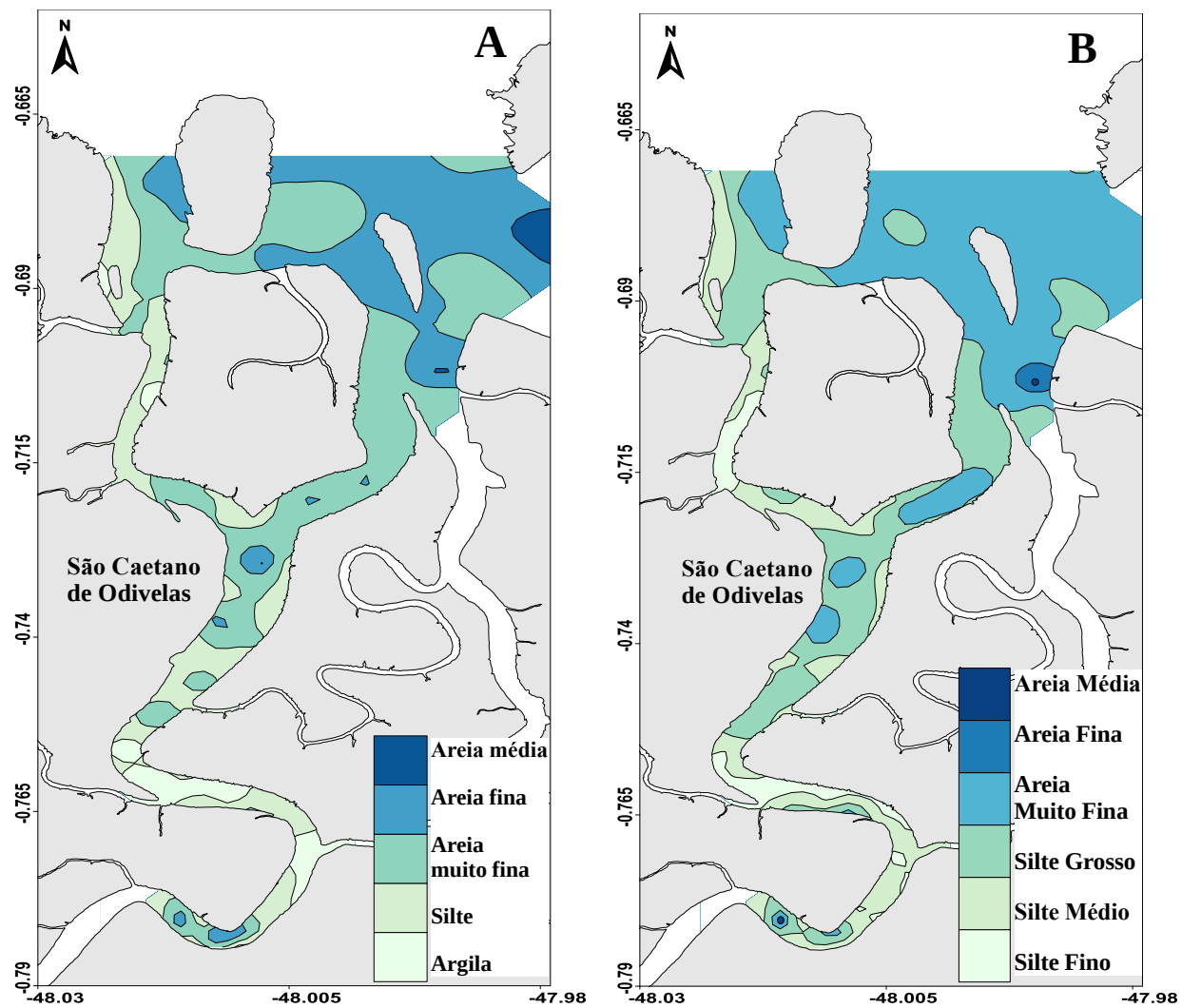
Segundo essa classificação não há presença de areia grossa e argila no estuário do rio Mojuim. A determinação da areia média ficou abaixo de 2%, sendo observado em apenas duas estações ao longo do estuário. A areia fina se destacou em 24 amostras (20,5%), presentes no canal leste.

A tabela 3 mostra a média do diâmetro médio dos sedimentos e teor de matéria orgânica e carbonato distribuídos em cada zona do estuário do rio Mojuim.

Tabela 3- Médias do diâmetro médio dos sedimentos e do teor de matéria orgânica e carbonato distribuído em cada zona do estuário do rio Mojuim.

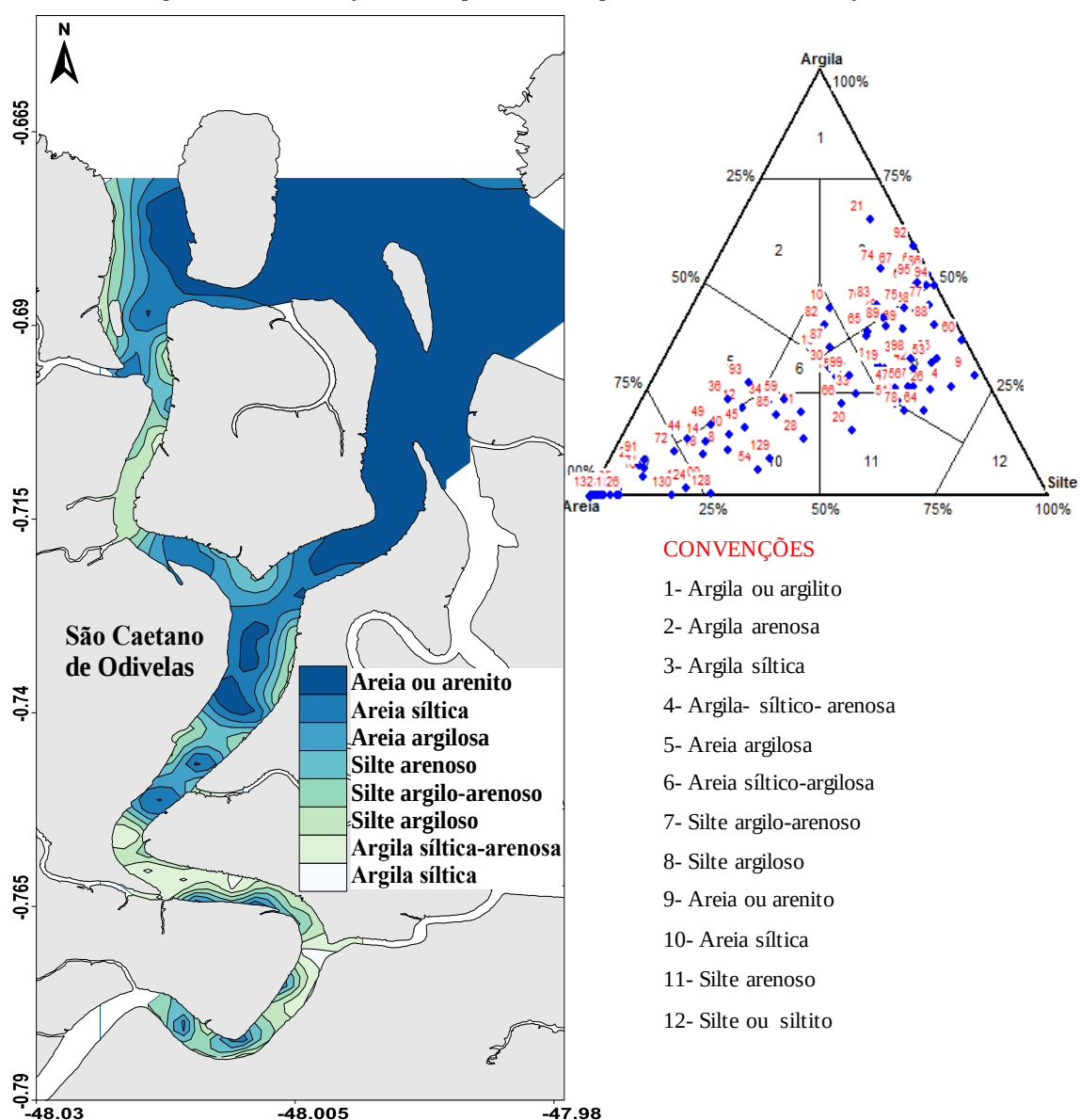
Zona	Areia Média	Areia Fina	Areia Muito Fina	Silte	Argila	Seleção	% MO	% CaCO ₃
Canal Leste	9,63	43,38	40,75	3,31	0,99	Moderadamente	1,17	0,61
Canal Oeste	1,36	14,15	31,06	31,23	19,75	Pobrememente	7,36	2,8
Confluência	5,92	17,15	38,99	25,39	10,64	Pobrememente	4,8	2,19
Estuário Superior	2,05	1,62	15,92	41,33	35,93	Muito pobremente	9,02	3,89

Figura 9- Distribuição da granulometria segundo a classificação de Wentworth de 1922 (a) e Folk de 1954 (b) no estuário do rio Mojuim.



A distribuição dos teores de areia, silte e argila segundo a classificação de Shepard (1954) se mostraram heterogênea ao longo do estuário, sendo observadas oito classes granulométricas (figura 10): areia ou arenito (41,8%), predominante no canal leste; silte argiloso (23%), presente em toda a extensão do rio Mojuim, exceto no canal leste; areia siltica (14,5%), com predomínio na zona de confluência; argila siltica (9,4%), presente apenas na zona do estuário superior; argila siltica-arenosa (3,4%) predominante na zona de estuário superior; silte argilo-arenoso (3,4%), silte arenoso (2,5%) e areia argilosa (1,7%); distribuído ao longo do estuário, exceto no canal leste.

Figura 10- Classificação de Shepard de 1954 para o estuário do rio Mojuim.



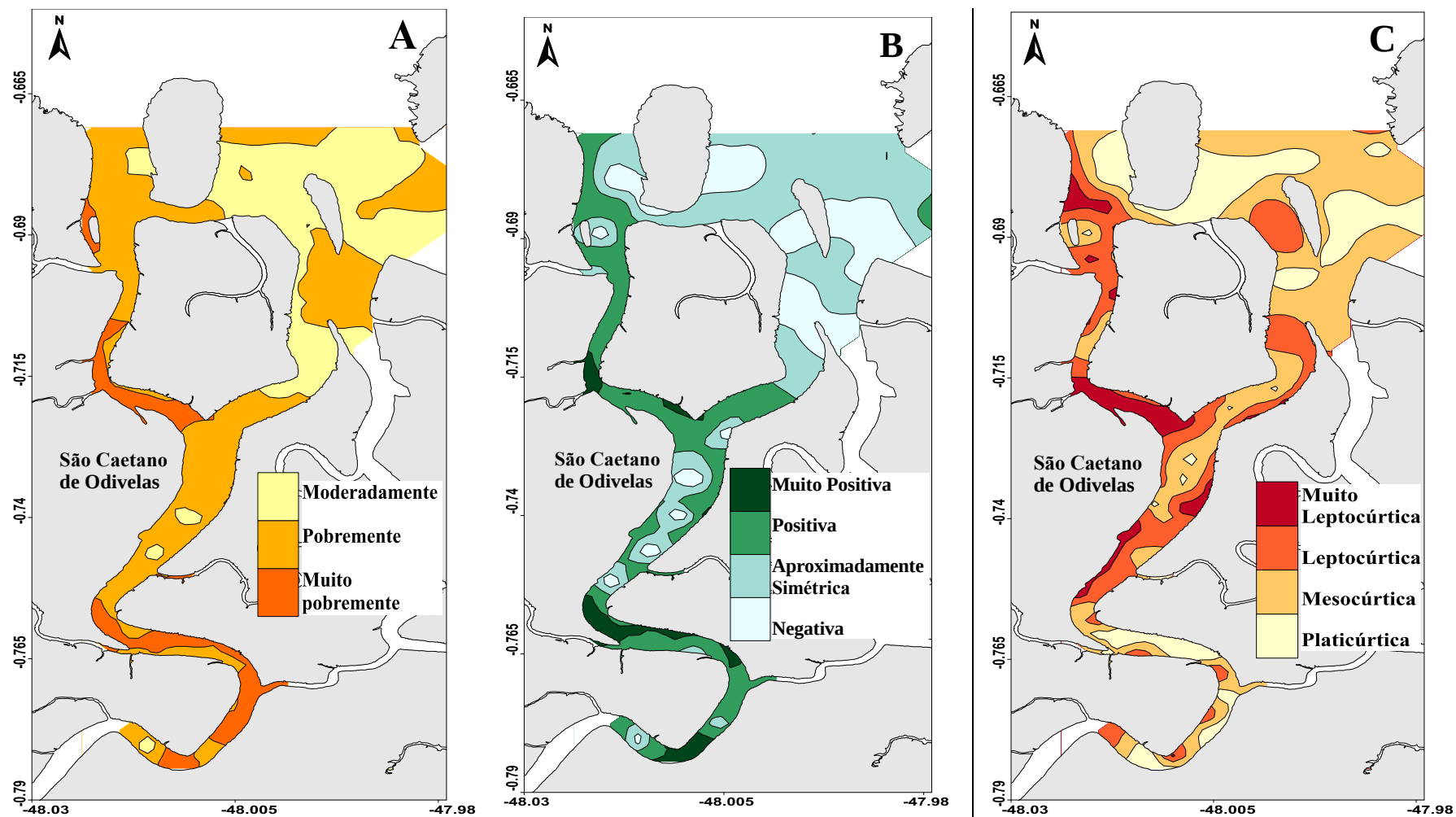
Baseado na escala quantitativa proposta Folk e Ward (1957), o grau de seleção dos grãos ao longo do estuário do Rio Mojuim variou de muito pobremente a moderadamente selecionados (figura 11a), com predominância de grãos pobremente selecionados (56.4%).

No canal leste houve predomínio de grãos moderadamente selecionados (19,6%), enquanto que, no canal oeste a seleção dos grãos variou de muito pobremente selecionados a pobremente selecionados. Na zona de confluência e de estuário superior houve predominância de grãos pobremente selecionados e muito pobremente selecionados.

A assimetria dos sedimentos ao longo do estuário variou de -0,25 (negativa) a 0,79 (muito positiva) (figura 11b). O canal leste apresentou em toda a sua extensão predomínio de assimetria aproximadamente simétrica e negativa. O canal oeste exibiu valores de assimetria positiva, predominantemente. A zona de confluência apresentou valores de assimetria variando entre positiva e negativa, enquanto a zona de estuário superior exibiu valores de assimetria positiva e muito positiva, predominantemente.

A curtose variou bastante no estuário do rio Mojuim, ocorrendo uma distribuição análoga entre duas classificações (figura 11c). A distribuição platicúrtica (34,1%) foi predominante no canal leste e na zona do estuário superior; seguidas de mesocúrtica (22,2%) e leptocúrtica (22,2%), distribuídas ao longo do estuário; e muito leptocúrtica (21,3%), predominante no canal oeste.

Figura 11- Classificação quanto à seleção dos grãos (a), a assimetria (b) e a curtose (c) ao longo do estuário do Rio Mojuim.

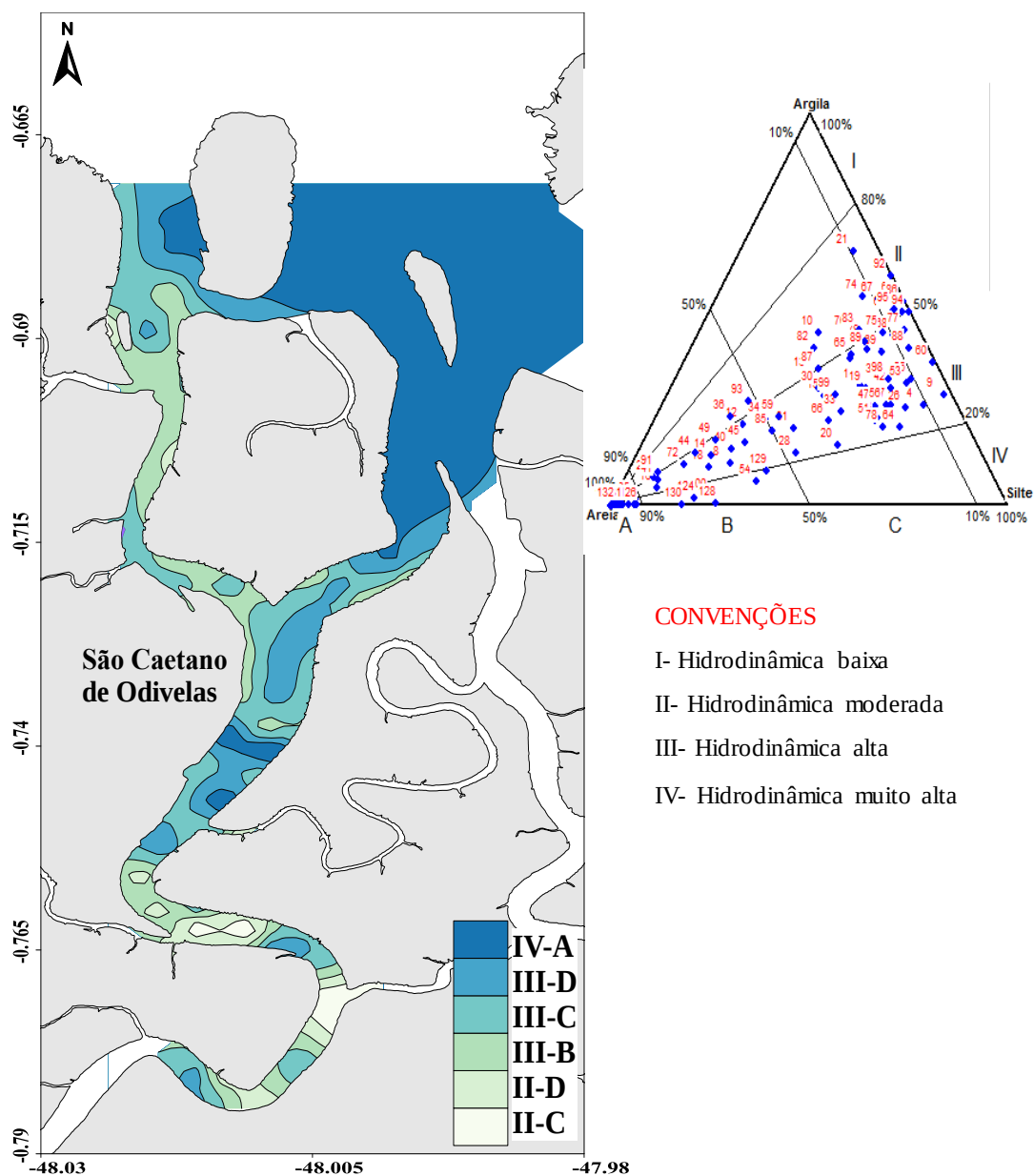


O diagrama de Pejrup (1988) classificou as amostras de sedimento de fundo do rio Mojuim em 6 grupos (figura 12).

O canal leste foi caracterizado como um ambiente de hidrodinâmica muito alta (IV-A), de modo que, as amostras de sedimento correspondem de 80 a 100% de areia. Enquanto no canal oeste houve predomínio de hidrodinâmica alta (III-B e III-C), com amostras de até 98,1% de areia.

Na zona de confluência a hidrodinâmica variou de alta a muito alta. Enquanto a zona de estuário superior apresentou, predominantemente, hidrodinâmica moderada (II-C e II-D).

Figura 12- Distribuição da hidrodinâmica segundo a classificação de Pejrup de 1988 no estuário do rio Mojuim.



6.2 Matéria Orgânica (MO)

A concentração de matéria orgânica nas amostras de sedimento variou de 0,04% a 15,4%, de modo que, 50 das 117 amostras (42,7%) apresentaram teor de matéria orgânica de 0-4%. A média do teor de matéria orgânica foi de 5,8% ao longo do estuário (figura 13a).

O canal leste apresentou os menores teores de MO (0-4%), enquanto a canal oeste e a zona de estuário superior apresentaram os maiores teores de MO com mínimo de 4% e máximo de 16%. A zona de confluência apresentou teores diversificados, com o centro do estuário apresentando teor <4% e as margens com teor de 4 a 12% de MO.

Os locais com maior concentração de matéria orgânica (8-16%) estão localizados nas margens do rio onde há predomínio de lama, que favorece a retenção de MO, provenientes, provavelmente do manguezal.

6.3 Carbonato de cálcio (CaCO_3)

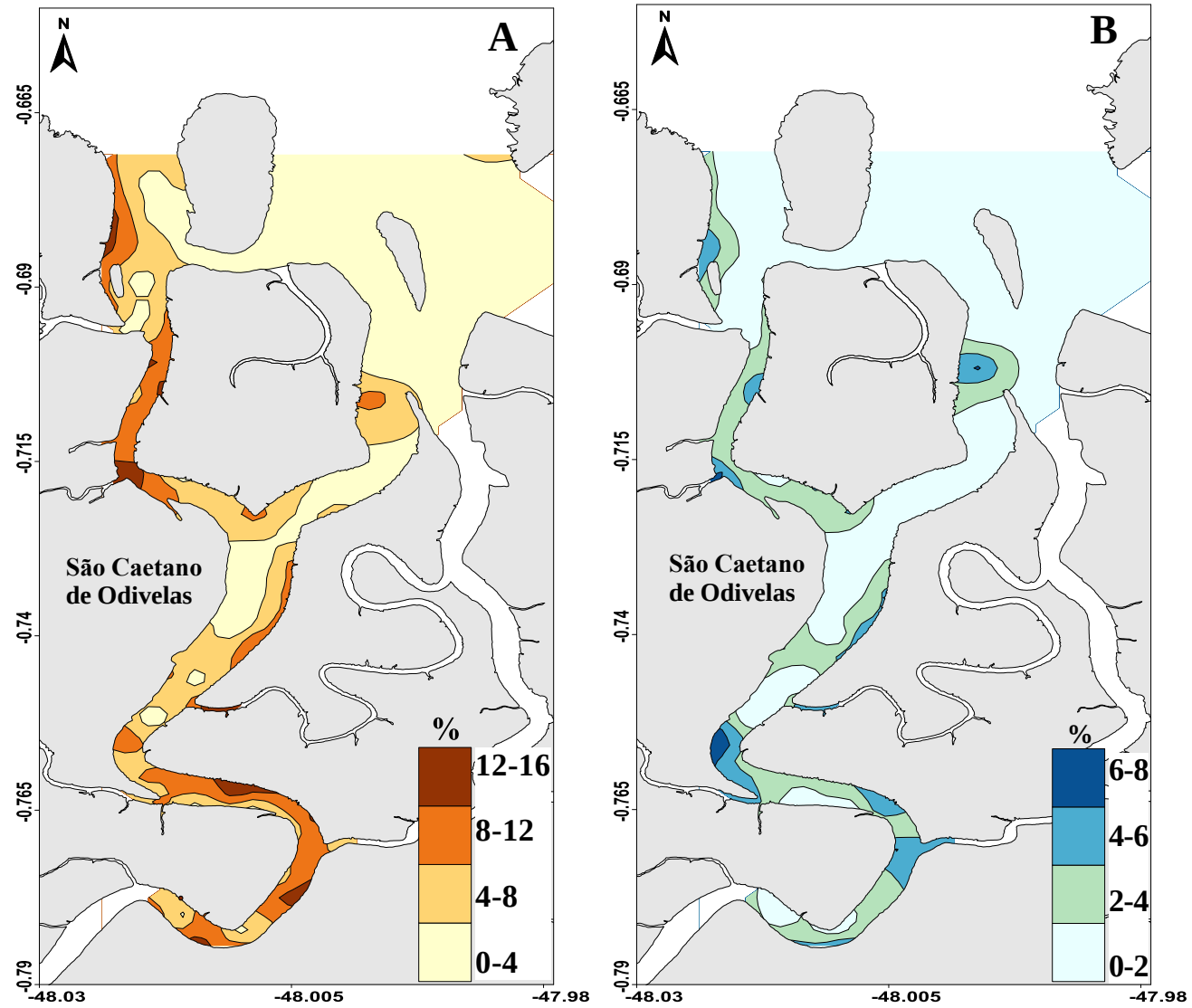
O teor de carbonato nas amostras de sedimento variou de 0 a 8% ao longo do estuário, de modo que 57 das 117 amostras (48,7%) apresentaram teor < 2% (figura 13b). A média de carbonato foi de 2,4%.

O canal leste e a zona de confluência exibiram as menores concentrações de carbonato (0-2%), apenas dois pontos na margem direita da ilha Sardinha apresentaram teores de 2,7% e 6,2% de carbonato. Além desses, outros três pontos na margem esquerda do rio Mojuim, na zona de estuário superior, apresentaram máximo de 7,7% de carbonato, possivelmente, devido à presença de conchas nas amostras de sedimento.

O canal oeste apresentou máximo de 6% de carbonato, localizados nas margens do rio, essa concentração pode estar relacionada à entrada de carbonato no estuário durante a enchente ou a superestimação causada pela calcinação a 1000°C.

Na zona de estuário superior houve variação na concentração do teor de carbonato, com máximo de 7,5%, observado na porção convexa do meandro, e mínimo de 0,16%.

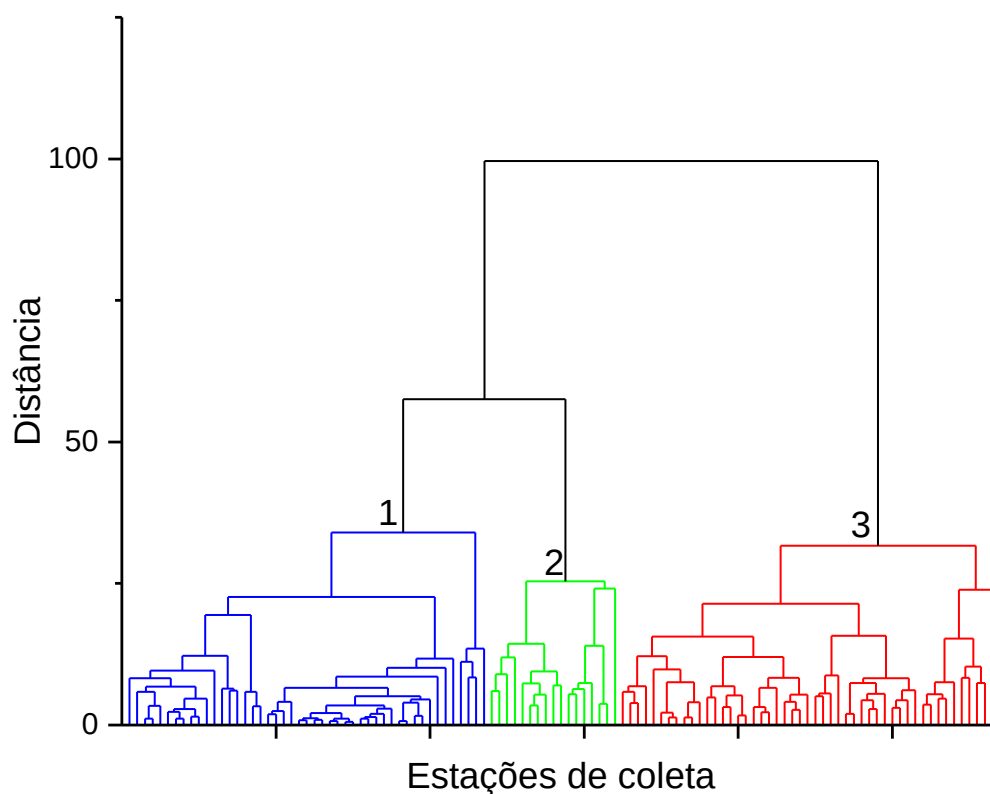
Figura 13- Distribuição do teor de matéria orgânica (a) e carbonato (b) ao longo do estuário do rio Mojuim.



6.4 Setorização

A semelhança entre os parâmetros sedimentológicos analisados (granulometria média, desvio padrão, assimetria, porcentagem de areia, porcentagem de lama, porcentagem do teor de matéria orgânica e carbonato) separou os pontos analisados em três grupos, os quais correspondem a subambientes de sedimentação que ocorrem no estuário do rio Mojuim, sendo: grupo 1 com características marinhas; grupo 2 com características transicionais; e grupo 3 com características flúvio-estuarino. O grupo 1 e 2 apresentaram maior grau de semelhança, conforme representado no dendrograma obtido a partir da Análise de Agrupamento (figura 14).

Figura 14- Dendrograma representativo dos três grupos (subambientes) obtidos através da análise de agrupamento das amostras coletadas. O grupo 1 representa o subambiente marinho, o grupo 2 o subambiente transicional e o grupo 3 o subambiente flúvio-estuarino.



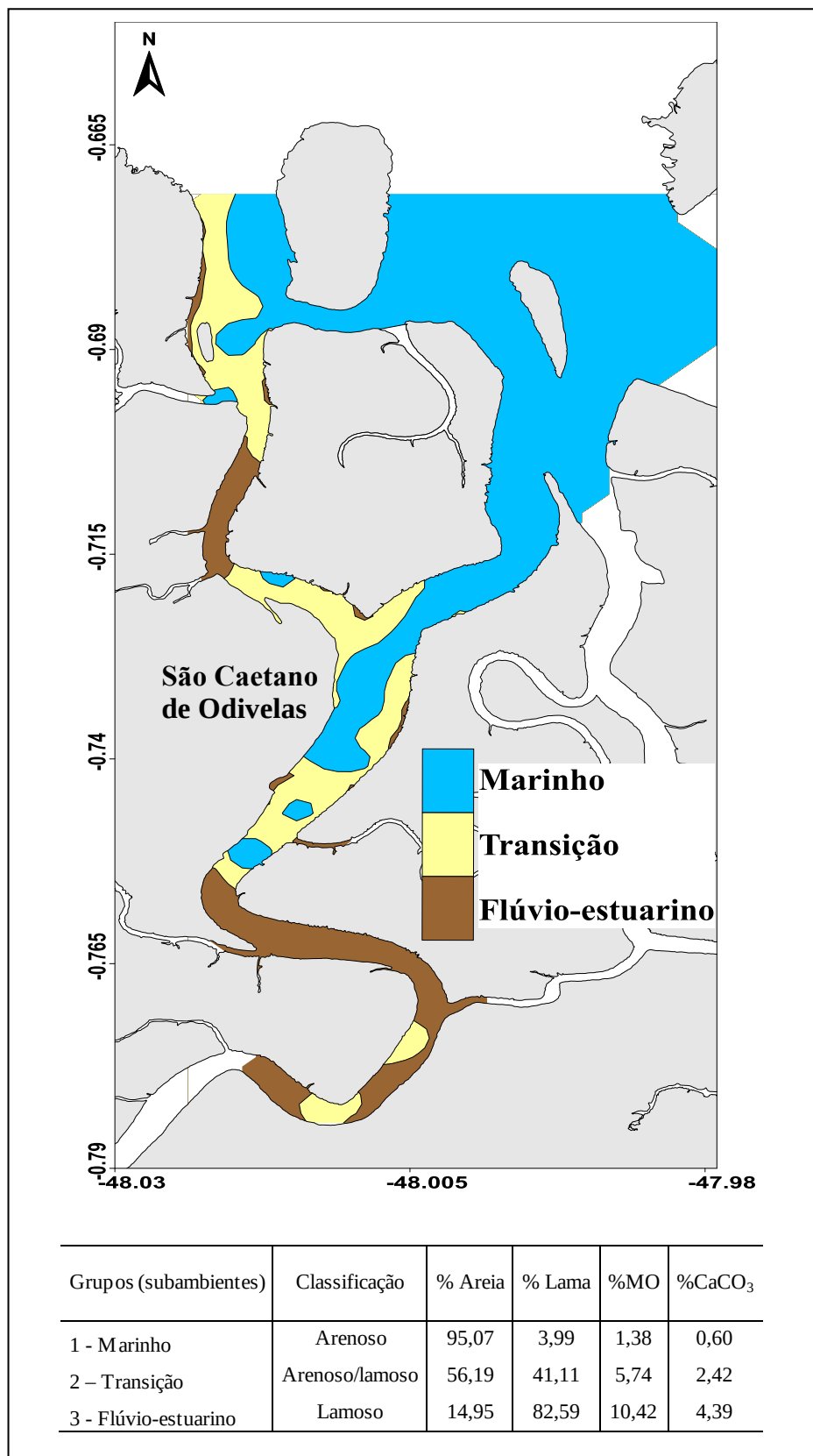
A proposta de setorização e síntese dos grupos formados encontram-se na figura 15, que mostram os limites de influência marinha e flúvio-estuarino e o setor transicional, com a média das variáveis sedimentológicas utilizada neste estudo, para cada grupo (subambiente) formado. Desse modo, os grupos (subambientes) podem ser caracterizados como:

Grupo 1- Reúne amostras compostas por sedimento arenoso fino e muito fino (95,07%), com melhor grau de seleção (moderadamente selecionado). A porcentagem média de lama foi de 3,99% e o teor de matéria orgânica teve média de 1,38%. O teor médio de carbonato foi de 0,60%. O canal leste é o setor do estuário do rio Mojuim que apresenta essas características, predominantemente, isso reflete um ambiente com intensa hidrodinâmica e podem ser entendidas como as áreas com maior influência marinha. Além disso, é possível observar que o domínio marinho se estende até parte da zona de confluência.

Grupo 2- Composto predominantemente por areia muito fina (56,19%), pobremente selecionada. A porcentagem média de lama foi de 41,10% e de matéria orgânica de 5,74%. O teor médio de carbonato foi de 2,42%. Em relação às variáveis sedimentológicas analisadas, este grupo apresenta valores intermediários entre os grupos 1 e 3, podendo ser interpretado como uma zona de transição entre esses dois grupos distintos, sedimentologicamente. O canal oeste e a zona de confluência foram os setores que apresentaram de forma predominante às características desse ambiente de transição, sofrendo influência das forçantes fluviais e marinhas. Acredita-se que este setor de transição pode sofrer deslocamento de acordo com as variações sazonais em função da maior influência fluvial ou marinha.

Grupo 3- Composto pelos sedimentos mais finos do estuário (silte grosso e médio), com média de 82,58% de lama e com pior seleção (pobremente selecionados). Possui as maiores porcentagens de matéria orgânica e carbonato, com média de 10,41 % e 4,38%, respectivamente. Este grupo pode ser interpretado como correspondente a áreas tipicamente flúvio-estuarinos, de hidrodinâmica moderada, essencialmente deposicional. A zona de estuário superior é o setor que apresenta predominantemente essas características, no entanto, elas também são observadas no canal oeste em regiões próximas a canais de maré.

Figura 15- Proposta de Setorização do estuário do rio Mojuim e síntese dos grupos (subambientes) a partir da média das variáveis sedimentológicas.



A análise de componentes principais explicou 88,24% da dispersão da nuvem de pontos, de modo que foram adotados os dois primeiros autovalores (eixos) (Tabela 3). Segundo Vieira et al. (2008), os dois primeiros eixos fatoriais (Eixo 1 e 2), normalmente, sintetizam a maior parte da variabilidade dos dados, permitindo reconhecer entre as variáveis analisadas aquelas que melhor explicam a diferenciação dos casos. Os demais eixos fatoriais revelam correlações secundárias entre as variáveis, e podem ser importantes para reforçar algumas correlações ou explicar desvios na tendência geral de distribuição dos casos.

Tabela 4- Distribuição dos autovalores segundo cada eixo. Em destaque encontram-se os eixos com maior variabilidade dos dados.

Eixo	Autovalores	%	% acumulada
1	4,34945	62.13%	62.13%
2	1,82745	26.11%	88.24%
3	0,39614	5.66%	93.90%
4	0,19375	2.77%	96.67%
5	0,13673	1.95%	98.62%
6	0,09340	1.33%	99.96%
7	0,00308	0.04%	100.00%

Na tabela 4 pode-se visualizar cada variável sedimentológica selecionada para a descrição do estuário do rio Mojuim, sendo a nuvem de dados interpretada como uma matriz de correlação, onde as variáveis possuem maior ou menor valor de correlação e o sinal indica se a correlação é positiva ou negativa.

Tabela 5- Peso das variáveis sedimentológicas nos dois primeiros componentes principais (eixos) extraídos da matriz de correlação das variáveis. Os sinais indicam se a correlação é positiva ou negativa.

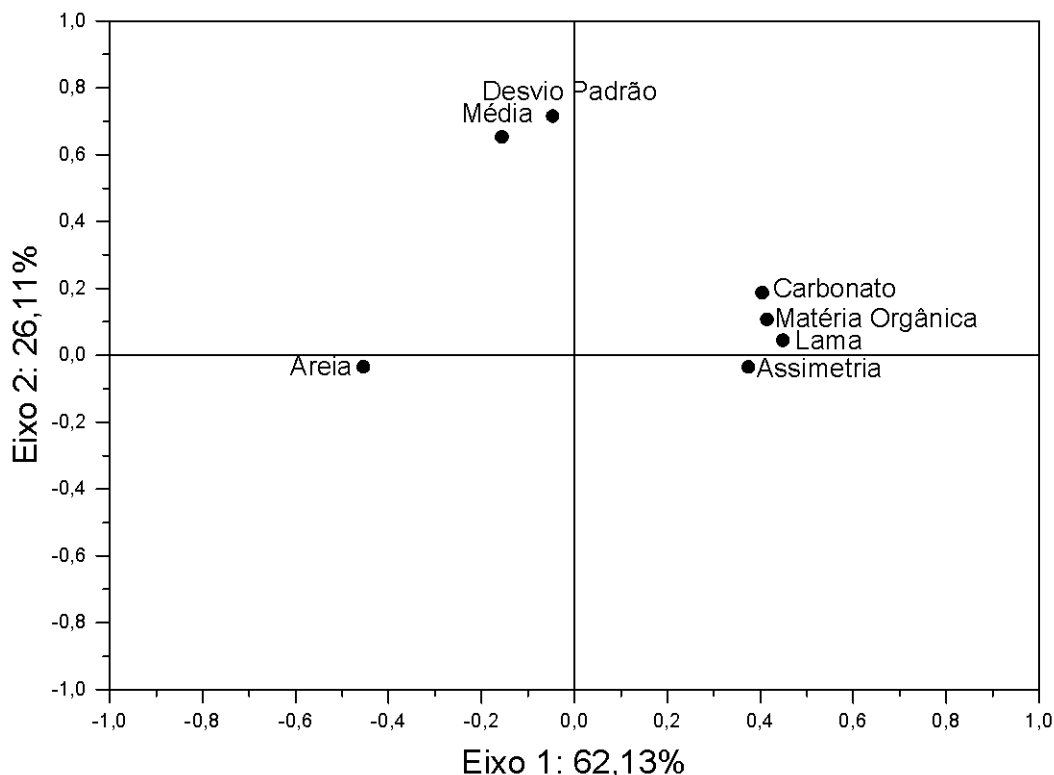
Variáveis Sedimentológicas	Eixo 1	Eixo 2
Média	-0,1561	0,6723
Desvio Padrão	-0,0331	0,7184
Assimetria	0,3999	-0,0264
Lama	0,4686	0,0554
Areia	-0,4692	-0,0356
Matéria orgânica	0,4451	0,0850
Carbonato	0,4203	0,1398

Cada componente principal (eixo) obtida neste estudo pode ser caracterizada da seguinte forma:

Eixo 1 - as variáveis sedimentológicas ligadas às coordenadas positivas são: a assimetria, porcentagem de lama, o teor de matéria orgânica e carbonato. Enquanto que, ligado às coordenadas negativas está apenas a porcentagem de areia. Essas variáveis possuem maior peso na constituição desse eixo, correspondendo a 62,13% da variabilidade presente. No eixo 1 é observado a relação entre a porcentagem de lama associada ao gradual aumento do teor de matéria orgânica e carbonato (figura 16).

Eixo 2 – neste eixo a variabilidade corresponde a 26,11% e não expressa ampla variação entre a média e o desvio-padrão entre os pontos analisados. A associação destes parâmetros confere ao estuário uma característica de homogeneidade sedimentar, de modo que se pode observar predomínio de granulometria fina (areia fina e lama) ao longo de todo o estuário. Contudo, é possível verificar que os sedimentos moderadamente selecionados são compostos, predominantemente por areia fina, enquanto que os pobremente selecionados apresentam granulometria predominantemente lamosa (silte grosso e médio).

Figura 16- Representação gráfica das coordenadas das variáveis sedimentológicas e suas correlações com os eixos 1 e 2.

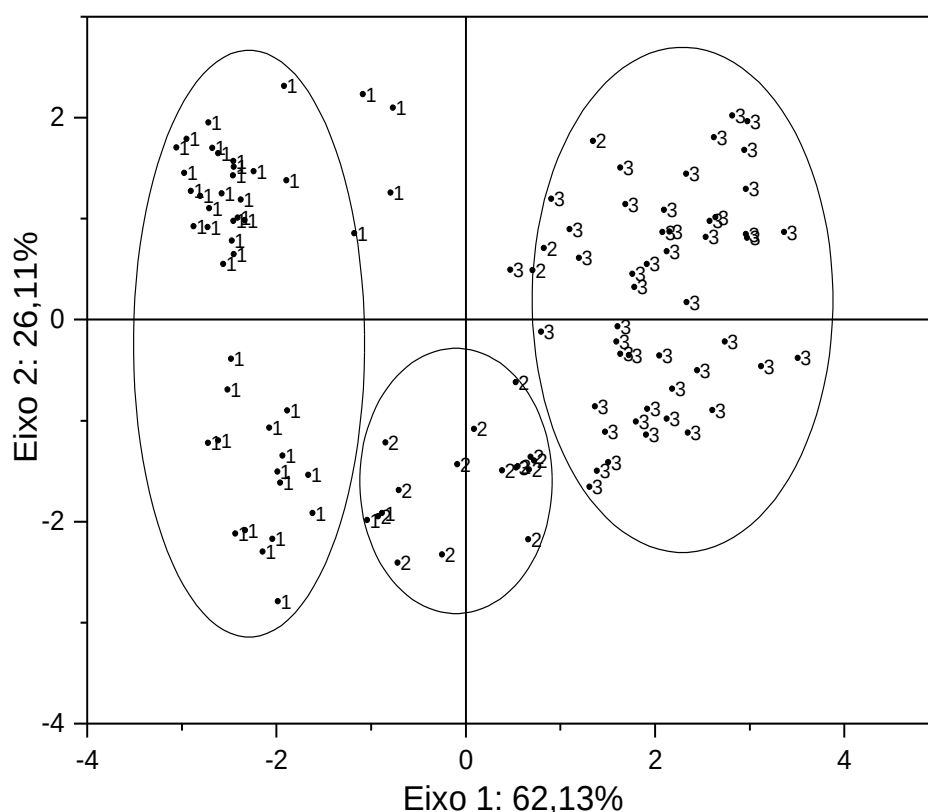


Os planos fatoriais foram analisados através do cruzamento do eixo 1 com o eixo 2, deste modo, o plano fatorial destes eixos (figura 17) explica 88,24 % da variância

das amostras e indica a nítida influência da porcentagem de areia no isolamento do grupo 1, assim como a porcentagem de finos no grupo 3. A relação direta entre o desvio padrão e a média indica que o grau de seleção aumenta conforme aumenta a porcentagem de areia nos sedimentos. As amostras do grupo 1 possuem correlação inversa com as porcentagens de matéria orgânica, carbonato, lama e assimetria.

Esta situação confirma que o grupo 1 é constituído por sedimentos arenosos, que variam de moderadamente a bem selecionados. Já o grupo 3 é constituído por sedimentos finos, pobremente selecionados e associados à maior porcentagem média do teor de matéria orgânica e carbonato da área de estudo. Os casos reunidos no grupo 2 possuem características sedimentológicas intermediárias entre os grupos 1 e 3, sendo compostos por amostras predominantemente arenosas, com assimetria positiva, assemelhando-se principalmente ao grupo 1.

Figura 17- Representação gráfica das coordenadas vetoriais das estações analisadas no estuário do rio Mojuim, agrupadas em relação aos três subambientes previamente identificados, e suas relações de distância com os eixos fatoriais 1 e 2. O grupo 1 indica o subambiente marinho, o grupo 2 indica o subambiente de transição e o grupo 3 indica o subambiente flúvio-estuarino.



7 DISCUSSÃO

7.1 Sedimentologia

A relação entre a fonte dos sedimentos e os agentes que os dispersam (descarga fluvial, maré e ondas) contribui para as características sedimentares de uma região estuarina (BAPTISTA NETO et al, 2004). No estuário do rio Mojuim, um dos principais agentes responsáveis pelas características sedimentares do estuário é a hidrodinâmica, que é alta e favorece a deposição de sedimentos arenosos, principalmente no canal leste, onde há maior influência das correntes de maré e ação marinha.

À medida que as forçantes fluviais e marinhas adentram o ambiente estuarino estas perdem força e predomina a deposição de sedimentos lamosos (DALRYMPLE et al., 1992; DAVIS Jr, 1985; PERILLO, 1995; ROY et al., 2001). No estuário do rio Mojuim, apesar da alta hidrodinâmica, a dominância desse tipo de sedimento, em geral, deve-se ao intenso aporte fluvial, caracterizado pelas altas vazões (95,87 m³/s), principalmente no período chuvoso (ROCHA, 2015). Além disso, os manguezais, apesar de serem essencialmente retentores, também podem contribuir como fonte desse sedimento, embora de forma secundária. Eles promovem a coesão em areias finas e lamas, podendo exercer um forte controle sobre a geomorfologia, aumentando a resistência à erosão (COOPER et al., 1999).

Outro fator que promove a retenção sazonal ou permanente de sedimento lamoso em estuários é a salinidade, que favorece a decantação de sedimentos coesivos e de matéria orgânica (MEHTA, 1984). Desse modo, a entrada de águas marinhas no estuário do rio Mojuim, principalmente no período seco cuja salinidade atinge 26,98 (ROCHA, 2015), tende a favorecer a deposição de sedimentos finos.

Ao longo do estuário é possível observar que os grãos são predominantemente pobremente selecionados. No entanto, nos meandros (canal oeste e estuário superior) é observado predominância de sedimentos muito pobremente selecionados. Isso se deve a atividade de erosão que ocorre na margem esquerda do estuário, provocada pela corrente de enchente de direção nordeste, que carrega sedimentos grosseiros para o interior do estuário, e a presença de canais de maré que levam sedimentos finos para

dentro do estuário. Além disso, são áreas com profundidade alta (aproximadamente 12,5m) que deposição os sedimentos rapidamente sem que haja uma seleção dos grãos.

Segundo Duane (1964) o parâmetro assimetria tem sido usado com grande eficácia na identificação de ambientes em que predomina a deposição (assimetria positiva) e remoção seletiva (assimetria negativa). Aplicando este conceito no estuário do rio Mojuim, é possível propor que no canal oeste, nas margens da zona de confluência e na zona de estuário superior ocorre a deposição de sedimentos, enquanto que no canal leste e no centro da zona de confluência ocorre a remoção seletiva dos sedimentos.

A zona de confluência destaca-se por apresentar margens com deposição de sedimentos lamosos (assimetria positiva) e canal central com remoção seletiva (assimetria negativa). O grau de remoção pode ser explicado pelas intensas velocidades de corrente, as quais são maiores no canal principal (ROCHA, 2015), e o grau de deposição pelas correntes mais reduzidas próximas as margens.

A distribuição granulométrica do sedimento no estuário do rio Mojuim se apresenta, predominantemente, sob a forma platicúrtica, indicando mistura de populações distintas ou uma distribuição anormal. As curvas platicúrticas estão relacionadas a ambientes menos energéticos (menor movimentação) (PONÇANO, 1986), como na região do estuário superior (região de meandros) e na foz, próximo a ilhas ou bancos arenosos localizados na foz do estuário. As curvas leptocúrticas podem estar associadas a uma hidrodinâmica mais intensa (maior movimentação), como observado no setor leste.

Segundo o diagrama de Pejrup (1988), a hidrodinâmica do estuário do rio Mojuim variou de moderada a muito alta, com predomínio de hidrodinâmica alta. Corrêa (2005) inferiu a hidrodinâmica da Baía de Marajó através da aplicação do Diagrama de Pejrup e seus resultados atestaram que a porção leste da Baía de Marajó é caracterizada como pertencente ao campo IIIC do diagrama de Pejrup, representando uma alta hidrodinâmica, semelhante ao estuário do rio Mojuim.

A hidrodinâmica do rio Mojuim influencia diretamente nas características texturais dos sedimentos, de modo que se pode observar a predominância de assimetria negativa, grãos platicúrticos e a seleção moderada dos grãos.

Concentrações elevadas de matéria orgânica podem ser encontradas em regiões próxima de manguezais (SILVA et al, 2011) ou associado a sedimentos finos e a

hidrodinâmica baixa (VIEIRA et al, 2008). Apesar da proximidade da foz do rio Pará, que carregam grande quantidade de matéria orgânica em suspensão (MACIEL, 2009), o estuário do rio Mojuim, apresentou valores baixos de MO, isso se deve, provavelmente, a alta hidrodinâmica verificada ao longo do estuário que diminui o tempo de permanência desse material no estuário.

O teor de carbonato também foi baixo ao longo do estuário e associado, em geral aos sedimentos de fração fina (areia fina e lama).

O estuário do rio Mojuim assemelha-se com o modelo sedimentológico proposto por Dalrymple et al. (1992) para estuários com domínio de maré, no qual a desembocadura do estuário é geralmente larga, com presença de bancos sedimentares orientados na direção das correntes e os sedimentos distribuídos de forma que o canal principal do estuário apresenta sedimentos mais arenosos, e as planícies de inundação e seus canais apresentam sedimentos mais lamosos. Além disso, apresenta mangues associados às grandes áreas entremarés e aos bancos sedimentares.

7.2 Setorização

A Análise de Componente Principal (PCA) e a Análise de Agrupamento permitiram, em conjunto, identificar os subambientes encontrados no estuário do rio Mojuim, além disso, puderam indicar as principais variáveis sedimentológicas responsáveis por esse agrupamento.

Ao comparar os sedimentos de fundo do estuário do rio Mojuim com estudos em estuários no Brasil pôde-se observar semelhanças na disposição das zonas de deposição, como os encontrados por Vieira et al (2008) no complexo estuarino da Baía de Babitonga-SC, Silva (2011) no Sistema Estuarino dos Rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim/ES, Fachi (2012) no Sistema estuarino lagunar do rio Itapocú/SC, entre outros.

Estes estudos indicam que as áreas expostas a uma maior ação hidrodinâmica possuem sedimentos mais grossos (areias) e bem selecionados. Já as zonas mais interiores, com baixa hidrodinâmica, caracterizam-se pela deposição de sedimentos mais finos (silte e argila), marcados pela má seleção e com os teores mais elevados de matéria orgânica. Estes sedimentos muito pobremente selecionados indicam a atuação de diferentes processos de sedimentação, com influência de diversos fatores como períodos de maior vazão dos cursos de água, amplitude de marés e correntes.

A partir da integração das variáveis sedimentológicas e da identificação dos grupos amostrais (grupo 1, 2 e 3), foi possível elaborar uma proposta de espacialização das zonas deposicionais recente do estuário do rio Mojuim, conforme ilustrado na figura 18. Correlação semelhante entre as variáveis e pontos amostrais foi encontrada por Vieira et al. (2008) e Silva (2012), de modo que as mesmas variáveis sedimentológicas utilizadas na setorização desses ambientes foram empregadas no estuário do rio Mojuim, com exceção da curtose, a qual não apresentou variação significativa.

O grupo 1, reconhecido como área de influência marinha, localiza-se principalmente na desembocadura do canal leste, que atua como fonte local de sedimentos arenosos de granulometria fina.

Este canal apresenta a direção nordeste a qual favorece o retrabalhamento e/ou distribuição sedimentar pela maré, sendo que durante a enchente a força predominante é marinha; e durante a vazante a força predominante é a fluvial. Além disso, este setor pode ser amplamente influenciado pelo rio Mocajuba.

O setor flúvio-estuarino (grupo 3) observado no estuário superior e no canal oeste difere do grupo 1 por apresentar um canal mais abrigado e mais estreito (aproximadamente 200 m), o que favorece a maior deposição de sedimentos lamosos.

Apesar da verificação destes setores, deve-se indicar que o estuário do rio Mojuim apresenta uma heterogeneidade dos parâmetros sedimentológicos analisados, não sendo perfeitamente segmentando em função da influência dos processos hidrodinâmicos, com maior destaque as correntes de maré.

8 CONCLUSÃO

O estuário do rio Mojuim apresenta sedimentos finos em padrões comuns a outros estuários, com sedimentos lamosos nas regiões de hidrodinâmica moderada e arenosos em locais com fortes correntes e/ou com maior influência fluvial ou marinha.

Os dados sedimentológicos referentes à granulometria, concentração de matéria orgânica e carbonato, revelaram-se bons indicadores dos ambientes de deposição recente, expressando a energia hidrodinâmica do estuário.

Os agentes hidrodinâmicos (fluxo fluvial, marés e ondas) atuando em diferentes intensidades dentro do estuário e a interação com a geologia local promoveram características peculiares, como a pouca porcentagem de carbonato associado ao sedimento lamoso e um baixo teor de matéria orgânica.

A proposta de setorização do estuário do rio Mojuim expõe os limites de influência marinha (foz do estuário), apresentando sedimentos arenosos (areia fina), com grãos moderadamente selecionados e menor teor de matéria orgânica e carbonato; transicional (confluência), com sedimentos característicos dos dois ambientes e flúvio-estuarino (estuário superior), apresentando sedimento lamoso, com grãos pobremente selecionados e maior teor de matéria orgânica e carbonato.

Deve-se considerar que a setorização proposta para o estuário do rio Mojuim baseou-se apenas em dados sedimentológicos do período de baixo índice pluviométrico, assim, a setorização pode sofrer deslocamento de acordo com as variações sazonais em função da maior influência fluvial ou marinha.

A partir desta setorização é possível verificar que as zonas reconhecidas como de deposição de sedimentos lamosos (região flúvio-estuarino) constituem também áreas preferenciais para a deposição e acumulação de poluentes e, desta maneira, devem ser sítios preferenciais de monitoramento geoquímico.

Além disso, as informações deste estudo podem auxiliar no gerenciamento dos manguezais e das áreas de Resex existentes na região do município de São Caetano de Odivelas, de modo que a mudança na composição e distribuição sedimentar do estuário pode afetar diretamente a conservação dos manguezais que são ambientes de importância econômica e social para os habitantes do município.

Recomenda-se que sejam realizados estudos que demonstrem o comportamento dos sedimentos durante o período de maior e menor índice pluviométrico e aspectos

geofísicos para melhor detalhamento das estruturas morfológicas e geomorfológicas do estuário do rio Mojuim.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. A. M. S. *Morfodinâmica e sedimentologia da Praia de Ajuruteua–NE do Pará*. 2001. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2001.
- BAPTISTA NETO, J. A.; SICHEL, S. E.; PONZI, V. R. A. *Introdução à geologia marinha*. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 279 p.
- BARCELLOS, R. L. *Distribuição da matéria orgânica sedimentar e o processo sedimentar atual no Sistema Estuarino Lagunar de Cananéia-Iguape (SP)*. 2005. 187f. Tese (Doutorado em Oceanografia Geológica) - Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, 2005.
- BARROS, D. F.; TORRES, M. F.; FRÉDOU, F. L. Ichthyofauna of the estuary of São Caetano de Odivelas and Vigia (Pará, Amazon Estuary). *Biota Neotropica*, v. 11, n. 8, p. 367-373, 2011.
- BOYD R.; DALRYMPLE R. W.; ZAITLIN B. A. Classification of clastic coastal deposition al environments. *Sedimentary Geology*, v. 80, p. 139-150, 1992.
- COOPER, A.; WRIGHT, I.; MASON, T. Geomorphology and sedimentology. In: ALLANSON, B.; BAIRD, D. (Ed). *Estuaries of South Africa*. New York: Cambridge University Press, 1999. p. 53-90.
- CORRÊA, I. C. S. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da Baía de Marajó-PA. *Pesquisas em Geociências*, v. 32, n. 2, p. 109-118, 2005.
- CUNHA, E.M.S. *Considerações gerais sobre a zona costeira*. Capítulo 3, 29p. 2005. Disponível em:
<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1432/3.CONSIDER_GERAIS_ZONA_COSTEIRA.pdf?sequence=4> Acesso em 21 de outubro de 2015.
- DALRYMPLE R. W., ZAITLIN B. A.; BOYD R. Estuary facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 62, n. 2, p. 1130-1146, 1992.
- DAVIS JR, R. A. *Coastal sedimentary environments*. New York: Springer-Verlag, 1985, 716 p.
- DEAN JR, W. E. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 44, p. 242-248, 1974.
- DEPARTAMENTO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). *Tábuas de marés para 1994 - Costa do Brasil e alguns portos estrangeiros*. 32. ed. Rio de Janeiro, DHN, 1994, 196p.

DIAS, J. A. *A Análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos*. Versão preliminar. Faro: Universidade do Algarve, 2004, 80p.

DIONNE J. C. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. *Geomorphology*, v. 7, p. 36-44, 1963.

DUANE, D. B. Significance of skewness in recent sediments, Western Pamlico Sound, North Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 34, n. 4, p. 864-874, 1964.

EL-ROBRINI, M.; FARIA JR., L. E. C.; TORRES, A. M.; SOUZA FILHO, P. W. M.; SILVA, M. S. Deposição e assoreamento das rias do nordeste do estado do Pará – Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, 1992, São Paulo. *Anais, Sessões Técnicas*, São Paulo: SBG, v. 2, p. 79-80.

FACHINI, J. *Setorização sedimentar do sistema estuarino lagunar do rio Itapocú-Litoral Norte de Santa Catarina*. 2012. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - Universidade do Vale do Itajaí Universidade do Vale do Itajaí, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Itajaí, 2012.

FAIRBRIDGE, R. W. The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: OLAUSSON, E.; CATO, I. (Eds.). *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. New York: Interscience Publishers, 1980, p. 1-35.

FAURE, J. F. Análise multitemporal da dinâmica espacial de manguezais em São Caetano de Odivelas, Costa Nordeste do Pará, Brasil. In: PROST, M. T.; MENDES, A. C. *Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2013. p.75-87.

FIDELLIS, C. N. A. *A pesca de curral no município de São Caetano de Odivelas-Pa*. 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas, Belém, 2013.

FOLK, R. L. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Journal of Geology*, v. 62, n. 4, p. 344-359, 1954.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, v. 27, n. 1, p. 3-26, 1957.

FRAZÃO, E. P. *Caracterização hidrodinâmica e morfosedimentar do estuário Pontengi e áreas adjacentes: subsídios para controle e recuperação ambiental no caso de derrames de hidrocarboneto*. 2003. 197 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Estado do Pará *Geomorfologia*. 2008. Disponível em: <http://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/>. Acesso em 15 de agosto de 2015.

JACKSON, M. L. *Soil chemical analysis: advanced course*. Madison: University of Wisconsin, 1958. 894p.

KIYATAKE, D. M. *Avaliação sanitária de água de cultivo e de ostras da Zona do Salgado, Nordeste do estado do Pará- Brasil*. 2011. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas, Belém, 2011.

KJERFVE, B. Estuarine geomorphology and physical oceanography. In: DAY JR, J. W.; HALL, C. A. S.; KEMP, W. M.; YAÑES-ARANCIBIA, A. *Estuarine ecology*. New York: John Wiley and Sons, 1989. p. 47-78.

KRALIK M. A rapid procedure for environmental sampling and evaluation of polluted sediments. *Applied Geochemistry*, v. 14, p. 807-816, 1999.

LANDIM, P. M. B. *Análise estatística de dados geológicos multivariados*. Laboratório de Geomatemática, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 2000. 128p.

LARSONNEUR, C. La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise du points et utilisée em Manche. *Journal de Recherche Oceanographique*, v. 2, n. 1, p. 34-39, 1977.

LEGENDRE, L.; LEGENDRE, P. *Numerical ecology*. Amsterdam: Elsevier, 1983. 419p.

LOHSE, L.; KLOOSTERHUIS, R. T.; STIGTER, H. C.; HELDER W.; RAAPHORST, W.; WEERING, T. C. E. Carbonate removal by Acidification cause loss of nitrogenous compounds in continental margin. *Marine Chemistry*, v. 69, p. 193-201, 2000.

MACIEL, I. L. S. *O mangue como unidade geográfica de análise: o espaço de vivência e produção comunitária nos manguezais da comunidade de Jutai no município de São Caetano de Odivelas – Pa*. 2009. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Belém, 2009.

MAHIQUES, M. M. *Considerações sobre os sedimentos de fundo da Baía da Ilha Grande, estado do Rio de Janeiro*. 1987. 156 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física) – Universidade Federal de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, 1987.

MARTORANO, L. G. *Estudos climáticos do estado do Pará: classificação climática de Köppen e deficiência hídrica*. Belém: SUDAM/EMBRAPA/SNLCS. 1993. p. 1-53.

McNALLY, W. H.; MEHTA, A. J. Sediment transport and deposition in estuaries (Sample Chapter). In: *ENCYCLOPEDIA of Life Support Systesm (EOLSS): Coastal Zones and Estuaries*. Retrieved from <<http://www.eolss.net/sample-chapters/c09/E2-06-01-04.pdf>>. 2004. Acesso em 12 de setembro de 2015.

MEDEIROS, P.R.L. *Transporte de material particulado em suspensão em um estuário dominado por maré: estuário do rio Mojuim São Caetano de Odivelas-Pará*. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém (no prelo).

MEHTA, A. J. *Estuarine cohesive sediment dynamics*. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 290-325p.

MILAN, C. C. *Caracterização biossedimentológica da zona estuarina do Rio Maciambu – Palhoça/SC*. 2010. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Pará. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). *Estudo socioambiental referente à proposta de criação de reserva extrativista marinha no município de São Caetano de Odivelas, Estado do Pará*. Belém, 2014.

MIRANDA, L. B. *Cinemática e dinâmica dos estuários*. São Paulo: BSP. 1984. 360p.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. *Princípios de oceanografia física de estuário*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002. 418 p.

MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica*, v. 35, n. 2, p. 207-214, 2005.

OLIVEIRA, D. A. G. *Caracterização bio-sedimentológica e proposta de setorização das lagoas de Camacho e Garopaba do Sul e Santa Marta, Santa Catarina, Brasil*. 2004. Dissertação. 103 f. (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 2004.

PEJRUP, M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: BOER, P. L.; VAN GELDER, A.; NIO, S. D. *Tide-influenced sedimentary environments and facies*. Dordrecht: D. Reidel, 1988. p.289-300.

PERILLO, G. M. E. *Geomorphology and sedimentology of estuaries*. Amsterdam: Elsevier, 1995. 471p.

PICANÇO, M. S. M. Formação vegetal do município de São Caetano de Odivelas (PA), por meio de produtos de sensoriamento remoto. *Revista Geonorte*, v. 1, n. 4 p. 113-124, 2012.

PONÇANO, W. L. Sobre a interpretação ambiental de parâmetros estatísticos granulométricos: exemplos de sedimentos quaternários da costa brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, n. 2, p. 157-170, 1986.

PRITCHARD, D. W. Estuarine circulations patterns. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, v. 81, n. 717, p. 1-11, 1955.

PROST, M. T.; MENDES, A. C.; FAURE, J. F.; BERREDO, J. F.; SALES, M. E. C.; FURTADO, L. G.; SILVA, M. G. S.; SILVA, C. A.; NASCIMENTO, I.; GORAYEB, I.; SECCO, M. F. V.; LUZ, L. M. Manguezais e estuários da Costa Paraense: exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas). In: PROST, M. T.; MENDES, A. C. *Ecossistemas Costeiros: Impactos e gestão ambiental*. Belém: MPEG, 2001. p. 75-87.

ROCHA, A. S. *Caracterização física do estuário do rio Mojuim em São Caetano De Odivelas – Pa*. 2015. 54 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2015.

ROY, P. S.; WILLIAMS, R. J.; JONES, A. R.; YASSINI, I.; GIBBS, P. J.; COATES, B.; WEST, R. J.; SCANES, P. R.; HUDSON, J. P.; NICHOL, S. Structure and function of South-east Australian estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 53, p. 351-384, 2001.

RUDORFF, F. M.; BONETTI, J.; PEIXOTO, J. R. V.; OLIVEIRA, U. R.; BONETTI, C. Setorização do Substema Sul da Lagoa da Conceição, Santa Catarina. *Brazilian Journal of Aquatic Sciences and Technology*, v. 9, n. 2, p. 49-56, 2005.

RYBA, S. A.; BURGESS, R. M. Effects of sample preparation on the measurement of organic carbon, hydrogen, nitrogen, sulfur, and oxygen concentrations in marine sediments. *Chemosphere*, v. 48, p. 139-147, 2002.

SANTOS, A.R. *Modelagem matemática do sistema estuarino dos rios Mojuim e Mocajuba (PARÁ-BR)*. 61 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2016.

SHEPARD, F. P. Nomenclature base for sand-silt-clay mixtures. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 24, p. 151-158, 1954.

SILVA, A. E. *Caracterização morfosedimentar e setorização do sistema estuarino dos rios Piraquê-açu e Piraquê-mirim e da Plataforma Continental interna adjacente, Aracruz – ES*. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, Brasil, 2012.

SILVA, F. S.; BITENCOURT, J. A. P.; SAVERGNINI, F.; GUERRA, L. V.; BAPTISTA-NETO, J. A.; CRAPEZ, M. A. C. Bioavailability of organic matter in the superficial sediment of Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociência*, v. 34, n. 1, p. 52-63, 2011.

SILVA, L. F. *Identificação de subambientes na baía Sul (SC) com base na análise de variáveis oceanográfico-sedimentares*. 2002. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2002.

SILVA, M. C. Estuários - critérios para uma classificação ambiental. 2000. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 5, n. 1, p. 25-35, 2000.

SOARES, N. L.; XAVIER, J. R. M.; AMARANTE, C. B. Influência das variáveis massa e temperatura na determinação da matéria orgânica do solo. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DE REDE NORTE E NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 4., 2009, Belém. [Anais...]. Belém, 2009. p.00-00.

SOUZA FILHO, P. W. M. e. *A planície costeira bragantina (NE do Pará): influência das variações do nível do mar na morfoestratigrafia costeira durante o Holoceno*. 1995. 123 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 1995.

SOUZA FILHO, P. W. M. e. *Análise multitemporal e multisensor (TM Landsat e Radarsat) da dinâmica de ambientes costeiros dominados por macromaré na Planície Costeira Bragantina-Pará*. 2001. 1 CD-ROM. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2001.

SOUZA FILHO, P. W. M. e; EL-ROBRINI, M. A morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfosedimentares da planície costeira bragantina – nordeste do estado do Pará (Brasil). *Geonomos*, v. 4, n. 2, p. 1-16, 1997.

SOUZA, J. A. G. *Caracterização morfossedimentar da Plataforma Continental Interna da enseada do pântano do Sul, ilha de Santa Catarina, SC*. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2007.

SUGUIO, K. *Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins*. Rio de Janeiro: Bertrand, 1998. 222p.

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

VALETIM, J. L. *Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos*. Rio de Janeiro: Interciência, 2000. 117p.

VIEIRA C. V.; HORN FILHO, N. O.; BONETTI, C. V. D. H. C. BONETTI, J. Caracterização morfossedimentar e setorização do complexo estuarino da Baía da Babitonga/Sc. *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 62-63, p. 85-105, 2008.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, v. 30, p. 377-392, 1922.

WINTERWERP, J. C.; VAN KESTEREN, W. G. M. *Introduction to the physics of cohesive sediment in the marine environment*. Elsevier, Amsterdam, 2004. 466p.