

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

CAMILLA DE SOUSA ALVES

**SEDIMENTAÇÃO ATUAL E COMPORTAMENTO DA MATÉRIA
ORGÂNICA NO SISTEMA ESTUARINO DO RIO GOIANA (PE-PB)**

RECIFE
2016

CAMILLA DE SOUSA ALVES

Licenciada em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, 2013

**SEDIMENTAÇÃO ATUAL E COMPORTAMENTO DA MATÉRIA
ORGÂNICA NO SISTEMA ESTUARINO DO RIO GOIANA (PE-PB)**

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para à obtenção do título de Mestre em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos.

**RECIFE
2016**

Catálogo na fonte

Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

A474s Alves, Camilla de Sousa.

Sedimentação atual e comportamento da matéria orgânica no sistema estuarino do rio goiana (PE-PB) / Camilla de Sousa Alves. 2016.

78folhas, Il.; Sigl. e Tabs.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Geociências, 2016.

Inclui Referências.

1. Geociências. 2. Estuário. 3. Razões isotópicas estáveis.
4. Carcinocultura.. I. Barcellos, Roberto Lima. (Orientador) II. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2016-100

CAMILLA DE SOUSA ALVES

SEDIMENTAÇÃO ATUAL E COMPORTAMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA NO SISTEMA ESTUARINO DO RIO GOIANA (PE-PB)

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental.

Dissertação defendida em: 18/02/2016

Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos (Orientador)
Departamento de Oceanografia – UFPE

Banca Examinadora

Profa. Dra. Lúcia Maria Mafra Valença - Titular
Departamento de Geologia – UFPE

Profa. Dra. Eliete Zanardi Lamardo - Titular
Departamento de Oceanografia – UFPE

Profa. Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo - Suplente
Departamento de Oceanografia – UFPE

Prof. Dr. Virgínio Henrique M. L. Neumann - Suplente
Departamento de Geologia – UFPE

*Dedicado aos meus pais Antonio Alves e
Cecília Gomes por todo esforço, compreensão
e amor depositados a mim.*

AGRADECIMENTOS

Sempre ouvi dizer que os agradecimentos é a parte mais fácil de ser escrita. Mas, tenho que discordar dessa frase tão dita por muitos. Passar em palavras escritas é reviver em lembranças tudo que me foi apresentado e vivido nessa nova etapa, nesse novo lugar, com tantas novas pessoas.

Gostaria de agradecer imensamente ao meu orientador Roberto Barcellos, por “de cara” aceitar me orientar e me conceder desde então esta oportunidade. Agradecê-lo por aceitar este desafio junto comigo e por acreditar no meu sucesso até o final. Obrigada, pelos ensinamentos, pelas colaborações, pela paciência e calma (que lhe faltou algumas vezes), mas que deu tudo certo.

Aos professores Antonio Fetter Filho e Plínio Camargo, pela parceria estabelecida para as análises e realização da presente pesquisa.

Ao professor Manuel Flores, pela parceria e ensinamentos de métodos e análises no LOQUIM. Além de toda preocupação como um amigo, desde os tempos de co-orientação de projeto na UFPA. E, em especial, ao Felipe Gaspar e a Josiane Paulo, por toda ajuda teórica, prática, esclarecimentos e conselhos, dentro e fora do laboratório.

Ao professor José Souto, pela ajuda com o tratamento dos dados estatísticos do trabalho.

Ao CNPq e CAPES pelo apoio financeiro do projeto de pesquisa “Hidrografia do Estuário do Rio Goiana” e concessão da bolsa de estudos, respectivamente.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGEOC) pela oportunidade e apoio, em especial, ao Igor Bandim, por sempre estar disposto a nos ajudar.

À família LABOGEO pelo companheirismo diário, pelas trocas de conhecimentos estabelecidas e risos compartilhados, em especial, à técnica Luciana Dantas e aos alunos de Doutorado, Emarielle Pardal e Diego Xavier (meu “co-orientador” não oficial) pelos treinamentos laboratoriais, pelos treinamentos com toda a parte de elaboração de mapas, pelas gigantes colaborações no desenvolvimento da pesquisa, pelo apoio e conselhos, pela grande amizade dentro e fora do departamento.

À minha família, pais e irmãos, por todo o apoio financeiro e amoroso, pelos conselhos, por ouvirem minhas histórias felizes e, principalmente, sobre meus choros. Por sempre acreditarem que eu seria capaz, até quando eu duvidei disso!

Aos amigos que compõem as “Ocas”, paraenses e agregados, com vocês não houve solidão em datas comemorativas e em nenhum simples almoço compartilhado. Obrigada, por sempre preencherem, principalmente, a lacuna familiar! De verdade!

A família de amigos que construí no Departamento de Oceanografia, em especial, a Deb, Raíra e Matthews, por todas as histórias vividas, por toda alegria, amizade e rodas de Côco compartilhada.

Ao irmão que Recife me apresentou, Antonio Neto (Rasta), pelo grande companheirismo, ombro amigo, pela moradia (nunca vou conseguir ser totalmente grata) e por todo cuidado tomado, mesmo quando íamos parar no Ur-7!

Aos amigos/companheiros da CDU, os integrantes e agregados da sede da Várzea, o nosso grupo tão amado e estimado, “Várzea é noix”! Obrigada, pela amizade, lealdade e viagens mais que maravilhosas!

Aos velhos e grandes amigos do Pará, que mesmo distantes fisicamente, fizeram-se presentes todos os dias durante minha luta. Essa vitória também é de vocês!

E aos que contribuíram direta e indiretamente ao trabalho, com apoio, fé e confiança em mim. Obrigada!

“A sua vida só começa, quando você sai da sua zona de conforto.”

(Desconhecido)

RESUMO

A pesquisa foi realizada no estuário do rio Goiana - PE ($7^{\circ}20'S/34^{\circ}50'W$) e objetivou compreender a influência dos processos naturais e antrópicos na sedimentação atual e biogeoquímica na área. Foram coletadas 23 amostras de sedimentos superficiais em Fevereiro/2012 (região do baixo e médio estuário) e realizadas análises granulométricas, de matéria orgânica total (MOT), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), Carbonato de cálcio ($CaCO_3$), razão C/N e razões isotópicas de $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$. Como análises complementares foram realizadas as análises da fração arenosa e o índice BPN (*Bio Production Number*) para a determinação do estado trófico do ambiente. Foram executadas também análises de correlação (*Spearman*), componentes principais e agrupamento (*Cluster*). Os sedimentos foram classificados como heterogêneos com predomínio de areias-sílticas siliciclásticas, pobremente selecionadas com baixos a médios teores orgânicos e de origem mista. As análises de correlação indicaram significância entre os teores de $CaCO_3$ e MOT ($r_s=0,67$; $p<0,05$), ao contrário dos dados de MOT e COT ($r_s=0,06$; $p>0,05$). A distribuição destes parâmetros não estabeleceu variações diretas com a granulometria. Concomitantemente a isso, o cálculo BPN evidenciou a condição predominante de hipertrofia, com os maiores índices nas estações de coleta adjacentes às áreas de carcinocultura, indicando que a presente distribuição sedimentar apresenta anomalias diretamente relacionadas ao aporte externo de contaminantes, evidenciando assim, a ocorrência de influências resultantes de atividades agrícolas, agropecuárias e/ou atividades cimenteiras exercidas na região, comportamento já reportado na literatura em outras regiões.

Palavras-chave: Estuário. Razões isotópicas estáveis. Carcinocultura.

ABSTRACT

The study site is the Goiana River estuary–PE (7°20'S/34°50'W) and this research aims to understand the influence of natural and anthropogenic processes on modern sedimentation and biogeochemistry in the area. Twenty-three sediment samples were collected in Feb/2012 (in middle and lower estuary) and analyses of grain size, total organic matter (TOM), total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), C/N ratio, CaCO₃ and $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ isotopic ratios. Were performed the coarse fraction analisys and the BPN index to determine the environmental trophic state. The collection data were treated by mean of the correlation analysis (Spearman), main components and groups (Cluster). The sediments were classified as heterogeneous, with mainly siliciclastic siltic-sand, poorly sorted varying from low to medium organic contents and presenting mixed origin. There was significant correlation between levels of CaCO₃ and TOM ($r_s=0.67$; $p<0.05$), unlike the data TOM and TOC ($r_s=0.06$; $p>0.05$). The distribution of these parameters does not establish direct variations with the grain size. Concurrently, the BPN index showed the predominant hypertrophy condition, with higher values located in sampling stations adjacent to shrimp farming areas. This indicates that this sediment distribution presents anomalies directly related to the allochthonous input of contaminants, thus evidencing the influences from agricultural activities, aquaculture and/or cement activities in the surrounding area. This behavior were already reported in the literature in other regions.

Keywords: Estuary. Stable isotopic ratios. Shrimp farming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo-----	24
Figura 2. Mapa de setorização do estuário do rio Goiana baseado em Barletta & Costa (2009): Estuários (A) superior, (B) médio e (C) inferior e área de Carcinocultura (Carc). Imagem retirada do Google Earth (2015) e adaptada de acordo com Lima (2015) -----	27
Figura 3. Mapa de uso e ocupação do solo no estuário do rio Goiana (PE). Sistema de coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000 - Zona 25 S Edição de laboratório: Athos Farias Menezes - LABOGEO/UFPE -----	29
Figura 4. Mapa de localização das estações de coleta de sedimentos superficiais no estuário do rio Goiana (PE) -----	31
Figura 5. Mapa batimétrico do estuário do rio Goiana -----	36
Figura 6. Diagrama triangular de Shepard (1954) das amostras do estuário do rio Goiana	38
Figura 7. Mapa de distribuição do diâmetro médio dos sedimentos do estuário do rio Goiana -----	39
Figura 8. Mapa do grau de seleção dos sedimentos do estuário do rio Goiana. Legenda: M.B.S. (Muito bem selecionado); B.S. (Bem selecionado); M.S. (Moderadamente selecionado); P.S. (Pobremamente selecionado); M.P.S. (Muito pobremente selecionado) -----	40
Figura 9. Mapa de distribuição dos teores de cascalho (%) dos sedimentos do estuário do rio Goiana-----	41
Figura 10. Mapa de distribuição dos teores de areia (%) dos sedimentos do estuário do rio Goiana-----	43
Figura 11. Mapa de distribuição dos teores de silte (%) dos sedimentos do estuário do rio Goiana-----	43
Figura 12. Mapa de distribuição dos teores de argila (%) dos sedimentos do estuário do rio Goiana-----	44
Figura 13. Mapa de distribuição dos sedimentos de acordo com o índice de biogênicos marinhos (B.M) da fração 0,500 mm (1 Φ) no estuário do rio Goiana -----	47
Figura 14. Distribuição dos sedimentos de acordo com o índice de biogênicos marinhos (B.M) da fração 0,250 mm (2 Φ) no estuário do rio Goiana -----	49
Figura 15. Mapa de distribuição dos teores de carbonato de cálcio (%) dos sedimentos do estuário do rio Goiana -----	51
Figura 16. Mapa de distribuição dos teores de matéria orgânica total (%) dos sedimentos do estuário do rio Goiana -----	53
Figura 17. Mapa de distribuição dos conteúdos de carbono orgânico total (%) dos sedimentos do estuário do rio Goiana-----	55
Figura 18. Mapa de distribuição dos conteúdos de nitrogênio total (%) dos sedimentos no estuário do rio Goiana -----	57
Figura 19. Mapa dos valores da razão C/N dos sedimentos do estuário do rio Goiana-	58
Figura 20. Mapa de distribuição da razão $\delta^{13}\text{C}$ dos sedimentos do estuário do rio Goiana	60
Figura 21. Mapa de distribuição da razão $\delta^{15}\text{N}$ dos sedimentos do estuário do rio Goiana -----	62

Figura 22. Mapa de classificação do índice BPN dos sedimentos do estuário do rio Goiana. Legenda: Oligotrófico (Oligo), Mesotrófico (Meso), Eutrófico (Eutro) e Hipertrófico (Hiper)-----	63
Figura 23. Dendograma - Análise de agrupamento das amostras do estuário do rio Goiana -----	65
Figura 24. Mapa de fácies sedimentares do estuário do rio Goiana -----	67
Figura 25. Análise dos componentes principais (ACP) dos sedimentos do estuário do rio Goiana-----	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coordenadas geográficas e os dados sedimentológicos: granulação, classificação de Shepard (1954) e parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) das amostras coletadas em 08 de Fevereiro de 2012 nas estações de coleta do estuário do rio Goiana-----	37
Tabela 2: Classificação das amostras segundo Shepard (1954) -----	38
Tabela 3: Coeficiente de correlação de Spearman (r_s) entre as variáveis analisadas no estuário do rio Goiana-----	42
Tabela 4: Frequências relativas (%) e índice de biogênicos marinhos (B.M) dos constituintes identificados na fração 0,500 mm (1 Φ) das amostras do estuário do rio Goiana--	45
Tabela 5: Frequências relativas (%) e índice de biogênicos marinhos (B.M) dos constituintes identificados na fração 0,250 mm (2 Φ) das amostras do estuário do rio Goiana--	46
Tabela 6: Tabela dos parâmetros geoquímicos coletados no estuário do rio Goiana ---	50
Tabela 7: BPN e estado trófico das estações de coleta do sistema estuarino -----	64
Tabela 8: Características das fácies sedimentares identificadas no sistema estuarino --	66
Tabela 9: Autovalores calculados com base nas variáveis utilizadas para análise -----	68
Tabela 10: Componentes principais calculadas para as amostras coletadas -----	69

LISTA DE SIGLAS

ABCC – Associação Brasileira de Criadores de Camarão	17
ACP – Análise dos Componentes Principais	34
Ar – Ar Atmosférico	33
BM – Biogênicos Marinho	32
BPN – Bio Production Number	18
BRI – Briozoários	44
C – Carbono	18
CIR – Cirripédios	44
CORAL – Fragmentos de Coral	44
COT- Carbono Orgânico	33
CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente	24
DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação	31
ESC – Escafópoda	44
FOR – Foraminíferos	44
FROC – Fragmentos de Rocha	45
FVEG – Fragmentos de Vegetais	45
GPS – Sistema de Posicionamento Global	30
IPNM – Indicadores de Paleoníveis Marinhos	21
MATLAB – Matrix Laboratory	31
MDT – Modelos Digitais de Terreno	31
MICA – MICA	44
MOC – Matéria Orgânica de Origem Continental	60
MOL – Moluscos	44
MOM - Matéria Orgânica de Origem Marinha	60
MOMC – Matéria Orgânica de Origem Mista Tendendo à Continental	60
MOMM - Matéria Orgânica de Origem Mista Tendendo à Marinha	60
MOT – Matéria Orgânica Total	33
MPES – Minerais Pesados	44
N - Nitrogênio	18
NR – Nível de Redução	31
NT – Nitrogênio Total	33
OBM – Outros Biogênicos Marinhos	44
PDB – Pee Dee Belemnite	33
PNM – Paleoníveis Marinhos	20
POL – Poliquetas	44
QLIM – Quartzo Liminotizado	44
QTZ – Quartzo	44
QUI – Quitina	44
RESEX – Reserva Extrativista	26
RMR – Região Metropolitana do Recife	54
RPPN – Reserva Particular de Patrimônio Natural	27
r_s – Coeficiente de Spearman	34
T – Testemunho	53
TBM – Total de Biogênicos Marinhos	45
TTR – Total de Terrígenos	45
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina	31
UPGMA – Unweighted Pair Group Method With Arithmetic Mean	35
UTM – Universal Transversa de Mercator	30
WGS – World Geodetic System	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Referencial Teórico	16
1.2. Isótopos estáveis como fontes indicadoras de materiais	21
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	23
2.1. Localização e Acesso	23
2.2. Densidade Demográfica	24
2.3. Aspectos Geológicos	25
2.4. Bacia Hidrográfica do Rio Goiana	26
2.5. Parâmetros Oceanográficos	26
2.6. Vegetação	27
2.7. Climatologia	28
2.8. Uso e Ocupação do Solo	28
3. OBJETIVOS	29
3.1. Objetivo Geral	29
3.2. Objetivos Específicos	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1. Atividades de campo	30
4.2. Atividades de laboratório	31
4.2.1. Tratamento dos dados batimétricos	31
4.2.2. Análise granulométrica dos sedimentos superficiais	32
4.2.3. Análise do conteúdo de carbonato de cálcio e matéria orgânica total	32
4.2.4. Análise da fração arenosa	32
4.2.5. Análise do C e N elementares e das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) da matéria orgânica sedimentar	33
4.2.6. Análise das razões elementares C/N	33
4.2.7. Estado Trófico do Sistema Estuarino	33
4.2.8. Tratamento dos dados obtidos	34

4.2.8.1. Correlação de Spearman (rs)-----	34
4.2.8.2. Análise dos Componentes Principais (ACP) -----	34
4.2.8.3. Análise faciológica através de técnica multivariada-----	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	35
5.1. Dados batimétricos -----	35
5.2.1. Fácies Texturais segundo Shepard (1954) e parâmetros de Folk & Ward (1957)-----	38
5.1.2. Fração Cascalho-----	41
5.1.3. Fração Areia -----	42
5.1.4. Fração Silte -----	43
5.1.5. Fração Argila -----	44
5.1.6. Análise Composicional da Fração Arenosa-----	44
5.2. Parâmetros geoquímicos-----	49
5.2.1. Teores de Carbonato de Cálcio (CaCO ₃)-----	50
5.2.2. Teores de matéria orgânica total (MOT) -----	52
5.2.3. Teores de Carbono Orgânico Total (COT)-----	54
5.2.4. Teores de Nitrogênio Total (NT) -----	56
5.2.5. Razão C/N -----	57
5.2.6. Razão Isotópica $\delta^{13}\text{C}$ -----	59
5.2.7. Razão isotópica $\delta^{15}\text{N}$ -----	61
5.2.8. Estado trófico do sistema estuarino -----	62
5.2.9. Análise de agrupamento (Cluster)-----	65
5.2.10. Análise dos componentes principais (ACP)-----	67
6. CONCLUSÃO-----	70
REFERÊNCIAS -----	72

1 INTRODUÇÃO

1.1 Referencial Teórico

A zona costeira representa uma região de transição ecológica e exerce uma importante função de conexão entre ecossistemas marinhos e terrestres. Os ambientes de sedimentação costeira, dos quais os estuários fazem parte, são considerados altamente dinâmicos e recebem grandes quantidades de matéria orgânica, nutrientes, sedimentos, contaminantes e outros (GAZEAU et al., 2004). Assim, segundo a definição geológica de Day et al. (1989), estuários são feições costeiras bastante efêmeras.

De acordo com Asmus (1996), os ambientes estuarinos apresentam uma ampla importância, em que abrange desde aspectos ecológicos e sociais à aspectos econômicos, sendo estes considerados, portanto, importantes áreas para o desenvolvimento de múltiplas atividades econômicas (turismo, agricultura, navegação, pesca, atividades portuárias, atividades aquícolas, entre outras).

Os estuários representam uma porção muito pequena da superfície dos oceanos, no entanto, possuem um papel significativo nas áreas costeiras, pois aprisionam quantidades de material dissolvido e em suspensão consideráveis, tendo assim, seu funcionamento comparável a um filtro entre os domínios marinhos e terrestres (GEBHARDT et al., 2005).

O depósito sedimentar de sistemas estuarinos é composto por diferentes proporções de material, oriundos, justamente, destas interações entre fontes marinhas e terrestres. O comportamento do material sedimentar nestes sistemas depende do tipo de aporte e introdução ao meio, das características relacionadas à topologia do ambiente e da circulação hidrodinâmica predominante. Estes processos são condicionantes para os processos de erosão, transporte, deposição e características do material introduzido no sistema (McDOWELL; O'CONNOR, 1977).

Quando o transporte sedimentar introduzido nesses ambientes, está diretamente relacionado aos fenômenos hidrodinâmicos presentes, estes, chegam a provocar inúmeras consequências sobre a evolução sedimentar dos fundos estuarinos, tais como conservação dos canais, evolução dos bancos e crescimento das margens (CUNHA, 2005).

De maneira histórica e global, os estuários vêm sofrendo grandes pressões pelas populações existentes nas áreas costeiras, através do desenvolvimento urbano, agrícola, industrial, turístico e recreacional (CLARK, 1996).

O estuário do rio Goiana localizado no Estado do Pernambuco tem apresentado grandes alterações por ações oriundas, principalmente, do cultivo da cana-de-açúcar, das

atividades de carcinocultura e do desmatamento do manguezal. As atividades de carcinocultura, em especial, são um dos principais causadores de impactos na região, relacionados principalmente com a remoção de parte do manguezal e o lançamento de efluentes no estuário (GARLIPP et al., 2010).

Visando evitar maiores danos muitas vezes de modo irreparável aos manguezais e rios que recebem os efluentes oriundos dos tanques de carcinocultura, a Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC), criou um código de conduta, em que regulamenta as práticas deste tipo de atividade. Esse código estabelece alguns elementos que são considerados essenciais para o desenvolvimento sustentável da carcinocultura, tais como: práticas de preservação dos manguezais, a avaliação de áreas, padrões e métodos construtivos, práticas de alimentação, biossegurança da área, investigação de substâncias químicas, o manejo dos tanques, a despesca, os efluentes e os resíduos sólidos (ABCC, 2005). No entanto, a descarga excessiva e contínua resultante dos processos de manutenção dos tanques (trocas de água) lançadas ao meio ambiente podem trazer muitos impactos ao mesmo.

Em consequência disso, há uma série de impactos potenciais para áreas de atividades de carcinocultura em zonas estuarinas, tais como: aumento na taxa de sedimentação no ambiente, remoção de terras úmidas (devido à construção de tanques e canais), alteração nos regimes de maré, decaimento dos recursos naturais, descarga de nutrientes e lixo orgânico, eutrofização, acidificação dos solos e salinização das águas, introdução de espécies exóticas na região e aumento na demanda química e biológica de oxigênio devido à diminuição de oxigênio dissolvido no mesmo (WOLANSKI et al., 2000). Além de consequências sócio-econômicas, tais como: a marginalização das comunidades costeiras e as mudanças nos seus hábitos de vida (NAYLOR et al., 2000).

Neste contexto, faz-se necessário a compreensão do comportamento da matéria orgânica sedimentar, do carbonato de cálcio, da sedimentologia e dos processos geoquímicos na região. Uma vez que, com base em estudos sedimentológicos podemos inferir importantes e completos registros de mudanças ambientais em escala local e global (SUMMONS, 1993). E o conhecimento acerca da matéria orgânica presente no sedimento vem a oferecer diversas informações indicadoras de sua origem (MEYERS, 1997).

Esse tipo de estudo, quando relacionado a sedimentos recentes em processos sedimentares, revela a interação entre a atmosfera, biosfera, hidrosfera e geosfera, sendo considerado, portanto, um fator importante nas áreas biológicas, geológicas e ambientais (TYSON, 1995).

Assim, a investigação dos processos sedimentares visa obter subsídios para a correlação entre os vários tipos de ambiente que compõe a dinâmica deposicional e as características texturais dos sedimentos, estabelecendo parâmetros na identificação e caracterização do ambiente (SUGUIO, 1973).

Conhecer a origem, as formas de distribuição espacial e temporal da matéria orgânica sedimentar tem sido um importante fator na determinação da ocorrência de aportes de material de origem continental, bem como para a avaliação da influência antrópica sobre determinadas regiões (LAMB et al., 2006; MEYERS, 1997; STEIN, 1991).

De acordo com Kilminster (2010), o enriquecimento da matéria orgânica nos sedimentos pode estar associado aos processos de eutrofização. O aporte elevado de descargas de material orgânico e de nutrientes, derivados de atividades humanas, afetam os ecossistemas costeiros e marinhos. Além disso, Esteves (1998) afirma que, muitos estuários estão sujeitos a dejetos de materiais agrícolas e de efluentes urbanos.

Identificar as características do material orgânico depositado em sedimentos superficiais de áreas marinhas traz informações as quais ajudam na interpretação dos diferentes processos ocorrentes nessas áreas, tais como: o aporte de materiais de origem continental para o oceano, a produtividade de águas superficiais, as variações temporais nos processos sedimentares, a dinâmica de massas d'água, o potencial de oxi-redução, os índices de sedimentação, os processos diagenéticos, geoquímicos e a distribuição sedimentar (MEYERS, 1997; STEIN, 1991).

Através de análises dos componentes da matéria orgânica, como: o carbono (C) e o nitrogênio (N) pode-se determinar a origem dos aportes desse material, distinguindo-os de maneira a classificá-los como materiais marinhos ou continentais (BERBEL, 2008). É possível também, associar os dados de matéria orgânica com outras informações sedimentológicas, tais como: estrutura e textura dos materiais sedimentares, e composições microfaunísticas, permitindo assim, a elaboração de fácies sedimentares (MAHIQUES, 1998).

Com base em cálculos de teores de nitrogênio total e matéria orgânica nos sedimentos e buscando quantificar impactos decorrentes em ambientes estuarinos, pesquisadores utilizam um método proposto por Hakanson em 1984 (HAKANSON, 1984 apud BUENO, 2012), chamado, *Bio Production Number* (BPN), onde se realiza uma aproximação do estado trófico para o ambiente analisado.

O carbono e o nitrogênio são os dois constituintes principais da matéria orgânica. O conteúdo de carbono orgânico nos sedimentos superficiais depende de vários fatores, como: as características sedimentares, a taxa de degradação microbiana, a produtividade da coluna

d'água, além das condições oceanográficas ocorrentes na região (BARCELLOS; FURTADO, 1999).

Baixos teores de carbono orgânico, normalmente, são encontrados em mares abertos ($< 0,5\%$) por serem característicos de grandes bacias oceânicas. Enquanto que conteúdos mais elevados são registrados em sedimentos presentes na linha de costa, de mares interiores e de plataformas continentais, uma vez que são, geralmente, enriquecidos por este elemento. Não é incomum registros de carbono orgânico entre 2 a 4% nessas áreas, bem como em estuários (HUC, 1980 apud RASHID, 1985). Em rios e estuários, em média, 60% do carbono transportado encontra-se em solução e 40% no estado de partículas sólidas (RAYMOND; BAUER, 2001). Vale ressaltar, que os teores de nitrogênio também aumentam dos oceanos em direção às áreas costeiras, principalmente em áreas que apresentam fenômenos de ressurgência de águas profundas (ROMANKEVICH, 1984).

De acordo com Paropkari et al. (1991) é possível indicar a origem do carbono orgânico, a partir de uma correlação entre teores deste elemento com conteúdos de carbonato. A correlação positiva entre os teores destes parâmetros são indicativas que o carbono orgânico é de origem marinha. Sendo assim, a quantidade de carbonato de cálcio nos sedimentos é inversamente proporcional aos teores de carbono de origem continental.

A relação inversa para estes parâmetros é explicada pela inibição da precipitação do carbonato, quando sujeitos à introdução de sedimentos continentais. Além disso, os restos orgânicos, provenientes do continente, precisam passar por dissociação e reciclagem por atividade bacteriana para que possam ser utilizados pelos organismos marinhos (PAROPKARI et al., 1991).

Emerson & Hedges (1988) afirmam que a matéria orgânica, de origem marinha, pode ser identificada através dos sedimentos de fundo pela presença de maiores quantidades de nitrogênio, uma vez que, nas estruturas do fitoplâncton e zooplâncton encontram-se inúmeras substâncias bioquímicas, sendo particularmente mais ricas em proteínas (1/3 a 2/3 da massa corporal), representando assim, os principais compostos nitrogenados dos seres vivos.

Para maiores compreensões, Bordovskiy (1965) sugere estudos baseados nas análises da razão C/N, onde através deste parâmetro é possível avaliar a influência relativa da matéria orgânica de origem marinha ou terrígena. O autor sugere que os valores na ordem de: 4 a 7 e 8 a 12, para a razão C/N, indicam organismos fitoplanctônicos e misturas de material planctônico com plantas terrestres, respectivamente. Saito et al. (1989) sugerem que valores > 20 , indicam aporte continental. Enquanto, Barcellos (2005) em seu estudo realizado no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) sugere que intervalos de 0 a 6, de 6 a 12,

de 12 a 18, de 18 a 24 e > 24 , indicam teores de matéria orgânica de origem marinha, de origem mista tendendo à marinha, de origem mista, de origem mista tendendo a continental e de origem continental, respectivamente.

Entender a dinâmica desses elementos (C e N), bem como a de “contaminantes”, como os hidrocarbonetos de petróleo, metais na água e sedimentos, permite inferir estimativas com relação aos impactos ambientais ocorrentes nas áreas e suas consequências nos ecossistemas aquáticos (PELLEGRINI, 2005).

Nessa perspectiva, estabelecer uma relação entre processos sedimentares e geoquímicos em ambientes costeiros é de grande valia na obtenção de informações e dados para análises ambientais, nos quais visam um melhor entendimento acerca das possíveis alterações no mesmo.

Pettijohn (1975) afirma que parâmetros granulométricos obtidos de sistemas deposicionais podem ser utilizados para avaliar e interpretar a hidrodinâmica dos fundos de áreas marinhas. Além disso, afirma que a acumulação da matéria orgânica em sedimentos possui uma forte dependência com a quantidade de sedimentos finos (argilas) depositadas devido ao processo de adsorção. Assim, o diâmetro médio é um dos parâmetros estatísticos de maior relevância aplicado na sedimentologia. Do ponto de vista geológico, esse parâmetro reflete a média geral de tamanho dos grãos dos sedimentos, que são afetados pela fonte de suprimento de material, pelo processo de deposição e pela velocidade de corrente (FOLK; WARD, 1957). Outro fator importante a ser analisado é o grau de seleção dos sedimentos, em que é medido pelo desvio padrão e indica as flutuações do nível energético, da capacidade de classificar sedimentos e do agente responsável pela deposição dos mesmos (SAHU, 1964).

Em certas ocasiões, os parâmetros acerca do tamanho dos grãos não refletem, de maneira satisfatória, as condições ambientais que os conduziram, tais como, o quão de material não siliciclástico (grandes quantidades) foi depositado no sistema, por exemplo: fragmentos biogênicos marinhos, carapaças de organismos, espinhas de peixes e/ou restos de materiais vegetais (MAHIQUES et al., 1998). Diante disto, como forma de informação adicional, pode-se utilizar uma análise complementar simples (*Coarse Fraction Analysis*), proposta por Shepard & Moore (1954) onde, com base nos parâmetros do tamanho e composição dos grãos, é possível diferenciar sua origem, sendo estes oriundos de sistemas deposicionais de zonas litorâneas ou de áreas de plataforma (MAHIQUES et al., 1998). Além disso, outras ferramentas ambientais têm sido bastante utilizadas nos últimos anos, tais como estudos relacionados à processos sedimentares, em que inferem indicadores de paleoníveis ambientais (PNM), seja na forma espacial e/ou temporal (ANGULO; SOUZA, 2014).

Sistemas deposicionais envolvem interações entre os processos sedimentares que atuam em diversas escalas de tempo e espaço. E, através de estudos estratigráficos, podem-se inferir, também, dois tipos de indicadores para ambientes costeiros, são eles: 1- os indicadores de paleoníveis marinhos (PNM), tais como: os parâmetros geomorfológicos, faciográficos e biológicos, presentes em costões rochosos e recifes, e arqueológicos; 2- e os principais tipos de indicadores costeiros (IPNM), que podem ser classificados e expressos, quanto: ao tipo de informação que fornece e ao tipo de evidência empregada para a obtenção da mesma (ANGULO; SOUZA, 2014). No presente estudo, foram utilizados como IPNM, os elementos espaciais e estratigráficos de fácies.

É interessante ressaltar que as fácies sedimentológicas podem ser consideradas como indicadores espaço-temporais compostos, uma vez que podem indicar a altura do paleonível marinho, o momento ou o período do mesmo (ANGULO; SOUZA, 2014).

1.2 Isótopos estáveis como fontes indicadoras de materiais

A partir da década de 80, estudos que utilizam o uso de isótopos estáveis de carbono para fins ecológicos vêm sendo intensificados, baseando-se na determinação da relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ do material em questão. Na natureza encontram-se valores de aproximadamente 98,89% para carbono do tipo ^{12}C e 1,11% para ^{13}C , sendo que a taxa destes dois isótopos pode sofrer variação de acordo com o fracionamento durante processos químicos, físicos e biológicos. Em decorrência de processos de fracionamento cinético, bem como de equilíbrio, a sua razão isotópica mostra uma variação natural em torno de 100‰ (BOUTTON, 1991).

Em ambientes aquáticos, o valor de $\delta^{13}\text{C}$ pode variar de forma significativa dependendo da fonte de CO_2 dissolvido, podendo ser oriundos de rochas calcárias, minerais, da atmosfera ou da matéria orgânica (PETERSON; HOWARTH, 1987). Além disso, as assinaturas isotópicas do carbono e nitrogênio na matéria orgânica têm sido utilizadas para identificar os efeitos da mudança da cobertura vegetal nas bacias de drenagem (CHANG et al., 2009).

De acordo com McCallister et al. (2006), através da composição isotópica do carbono é possível fazer a identificação do tipo de fonte: plantas do tipo C_3 (plantas superiores, floresta original) ou C_4 (gramíneas, cana-de-açúcar). Lima (2008), considera valores médios para $\delta^{13}\text{C} = -26\text{‰}$ (C_3) e -12‰ (C_4), permitindo assim identificar a origem da vegetação através do ($\delta^{13}\text{C}$) como traçador nesses ambientes.

Diante disso, sabe-se que os isótopos estáveis estão presentes nos ecossistemas e a distribuição natural desses elementos vem a ser um reflexo da história dos processos físicos e metabólicos do ambiente (PEREIRA, 2007).

Por sua vez, algas e plantas vasculares apresentam em sua composição diversas quantidades de compostos orgânicos, apresentando diferentes valores isotópicos específicos. Através disto, consegue-se determinar também suas contribuições como fontes de matéria orgânica no ambiente deposicional (LORENTE et al., 2014). Essa distinção entre plantas terrestres e aquáticas é possível, justamente, por apresentarem diferenças na composição isotópica das fontes de nitrogênio orgânico dentre as mesmas (PETERSON; HOWARTH, 1987).

Nos ambientes aquáticos, quando a biomassa fitoplanctônica apresenta valores de $\delta^{15}\text{N}$ distintos da vegetação terrestre, os isótopos de nitrogênio podem ser utilizados como marcadores para matéria orgânica de origem autóctone ou alóctone (PETERSON; HOWARTH, 1987).

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ de nitrato dissolvido variam de (+7‰Ar a +10‰Ar), sendo os valores do mesmo na atmosfera (N_2) aproximadamente 0‰ (PETERS et al., 1978 apud MEYERS, 1997). Em ecossistemas estuarinos, a diferença das reservas de nitrogênio são preservadas pelos conteúdos isotópicos contidos na matéria orgânica produzida pelo plâncton ($\delta^{15}\text{N} = +8,6\text{‰Ar}$) e plantas terrestres ($\delta^{15}\text{N} = +0,4\text{‰Ar}$) (PETERSON; HOWARTH, 1987).

É importante lembrar que plantas de manguezal, segundo Wooler et al. (2003), podem responder a outros tipos de fontes de nitrogênio, como ao uso de fertilizantes oriundos das localidades adjacentes ao ecossistema estuarino. Assim, intervalos de valores foram criados para a distinção das fontes de $\delta^{15}\text{N}$, tais como determinados por Aravena et al. (1993), em que fertilizantes comerciais variam de -2‰Ar a +4‰Ar, solos ricos em compostos nitrogenados (nitrato e nitrito) variam de +3‰Ar a +8‰Ar e nitrato de dejetos humanos e animais de +10‰Ar a +20‰Ar.

Assim, valores de $\delta^{15}\text{N}$ podem ser utilizados como indicadores da importância da fixação de nitrogênio (N) no solo, e a abundância natural deste elemento pode indicar possíveis modificações que venham a ocorrer no mesmo (LIMA, 2008). Portanto, Elliott & Brush (2006) afirmam que através de análises isotópicas de nitrogênio, é possível inferir a contribuição de fontes naturais e a contribuição de fontes antropogênicas de acordo com os tipos de plantas e algas encontradas.

Em virtude do acelerado processo de desenvolvimento urbano-industrial nos últimos anos, o aporte de poluentes em ambientes aquáticos costeiros tem aumentado consideravelmente. Nesse contexto, é interessante analisar e avaliar também as possíveis alterações sofridas pelo ecossistema, uma vez que os efeitos deletérios ocasionados por tais descargas comprometem a qualidade ambiental dos mesmos (MARINS et. al., 2007). Assim, faz-se necessário também, a utilização de ferramentas que sirvam para avaliar o estado trófico das águas estuarinas-costeiras (NASCIMENTO-FILHO, 2014).

O processo de eutrofização depende de diferenças temporais da qualidade da água, em decorrência de eventos hidrográficos, da disponibilidade de nutrientes e das taxas de sedimentação (MARQUES et al., 1993). A eutrofização de estuários caracteriza-se pelo acúmulo de nutrientes disponíveis no ambiente, sendo estes, oriundos de descargas fluviais e/ou fontes antropogênicas (ESTEVES, 1998).

O objetivo do presente estudo é avaliar a distribuição sedimentar atual e o comportamento da matéria orgânica sedimentar como indicadores ambientais no sistema estuarino do rio Goiana. Correlacionar todos os parâmetros estudados como a granulometria, o teor de matéria orgânica total, carbonato de cálcio e conteúdos elementares e isotópicos de carbono e nitrogênio sedimentar. E, a partir da avaliação destes parâmetros, obtermos informações sobre o comportamento sedimentar atual no estuário do rio Goiana, associando-os a possíveis impactos ambientais locais, derivados, principalmente, das atividades de carcinocultura e cana-de-açúcar.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 Localização e Acesso

O município de Goiana está localizado na mesorregião da Mata, mais especificamente, na microrregião setentrional do estado de Pernambuco à aproximadamente 60 km da cidade do Recife (Figura 1). O acesso ao município é feito através das Rodovias BR-101, PE-15 e PE-01 (via Paulista). Seus limites dão-se ao Norte com o estado da Paraíba, ao Sul com Itaquitinga, Igarassu, Itamaracá e Itapissuma, a Leste com o Oceano Atlântico e a Oeste com Condado e Itambé (GOIANA, 2014).

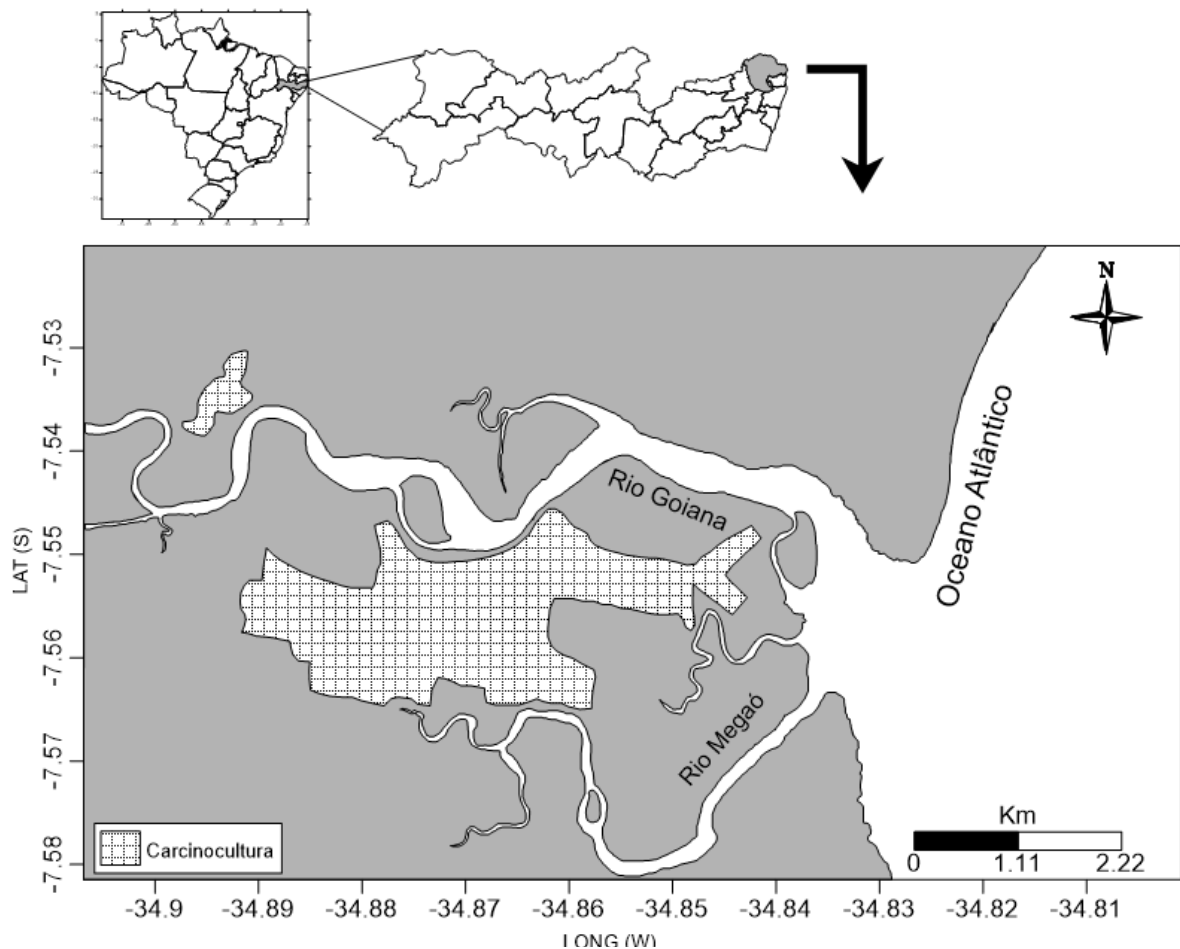


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

O sistema estuarino localizado entre as coordenadas 7°32' - 7°35' S e 34°50' - 34°58' W possui 475.000 m² de espelho d'água e uma extensão de 17 km, da cidade de Goiana até a foz (FIDEM, 1987), dos quais os últimos 10,5 km servem de limite entre os Estados da Paraíba e Pernambuco (CPRH, 1997).

2.2 Densidade Demográfica

O litoral pernambucano foi delimitado e setorizado com base na sua situação geográfica e política em 21 municípios, distribuídos numa faixa de 187 km que se estende desde o município de Goiana, ao norte, até o município de São José da Coroa Grande, ao sul (MANSO et al., 2006).

O município de Goiana possui aproximadamente 75.644 habitantes, com densidade demográfica de 150,72 hab/km² (IBGE, 2010).

2.3 Aspectos Geológicos

Muitas pesquisas e estudos geológicos têm sido produzidos desde o século passado acerca da faixa litorânea do Nordeste brasileiro, em especial sobre as áreas costeiras dos Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte (XAVIER, 2007).

A costa do Estado de Pernambuco apresenta aproximadamente 187 km de extensão e possui caráter transgressivo jovem. Apresenta baixa altitude, tendo em vários locais cotas inferiores ao nível da preamar. Possui predomínio de estuários, oriundos principalmente do aporte de sedimentos fluviais e os manguezais presentes nestes, indicam um reflexo de uma costa que recebe influência de marés. Outra característica importante é a ausência, praticamente total, de dunas ao longo da planície costeira, refletindo assim, a falta de condições favoráveis à acumulação desses depósitos (BORBA, 1999).

Os depósitos de leques aluviais pleistocênicos ocorrem no sopé dos sedimentos da Formação Barreiras e possui seixos de quartzo, areia quartzosa com argila, fragmentos de quartzos em matriz argilosa, sem estruturas visíveis. Os depósitos flúvio-lagunares são encontrados na porção interna da planície costeira e os vales esculpidos dos principais rios e riachos, são formados por sedimentos que variam desde areias finas a grossas até siltes argilosos, com diferentes níveis de compactação. Os depósitos aluviais apresentam sedimentos areno-argilosos, com granulometria e morfologia variadas e são compostos essencialmente por quartzo, sendo encontrados dispostos ao longo dos principais vales, apresentando-se, como um produto da erosão e do transporte fluvial (MANSO et al., 1995).

No Litoral Norte, os depósitos aluviais mais representativos acontecem na planície dos rios Tracunhaém e Capibaribe-Mirim, que formam o estuário do rio Goiana (no trecho localizado no município de Goiana); Goiana-Megaó (na ilha de Tiriri); Botafogo; Itapirema e Jardim (afluentes do Arataca); Desterro e Barro Branco (afluentes do Timbó), Igarassu; e Paratibe (CPRH, 2003).

Os terraços fluviais possuem uma morfologia do tipo plana e podem atingir largura expressiva, como no caso do estuário do rio Goiana (6 km). Os solos desenvolvidos em aluviões são, em geral, férteis e úmidos devido o nível subsuperficial do lençol freático (tornando-os bons aquíferos rasos), sendo assim, largamente utilizados com culturas, como: fruteiras, cana-de-açúcar, e forrageiras ou para localização de núcleos rurais e urbanos e instalação de indústria (CPRH, 2003).

O município de Goiana encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, e apresenta em sua constituição litotipos dos complexos Salgadinho e Vertentes,

da Formação Beberibe (Grupo Barreiras) e dos Depósitos Flúvio-marinhos, Flúvio-lagunares e Aluvionares (CPRM, 2005).

2.4 Bacia Hidrográfica do Rio Goiana

A Bacia Hidrográfica do rio Goiana está localizada no litoral do estado de Pernambuco, entre os paralelos 7°20' - 7°50' S e 34°50' - 35°40' W e apresenta uma área de 2.863 km², distribuídas de forma que 77% representam a Zona da Mata e 23% o Agreste. Esta bacia é formada pela confluência dos rios Capibaribe-Mirim e Tracunhaém. O rio Capibaribe-Mirim é quem drena a maior parte da bacia, apresentando aproximadamente 93 km de extensão. A nascente do rio situa-se no município de São Vicente Férrer (CPRH, 1997).

No ano de 2007, esse sistema tornou-se parte de uma unidade de conservação federal, classificada como uma reserva extrativista, a chamada RESEX Acaú-Goiana que apresenta, aproximadamente, 670.000 m² e tem seus limites definidos entre o litoral Norte de Pernambuco e o litoral Sul da Paraíba (FADIGAS; GARCIA, 2010).

2.5 Parâmetros Oceanográficos

Hayes (1979) apud Assis (2007) classifica a costa do estado de Pernambuco, sendo do tipo mesomaré, sob a ação constante dos ventos alísios e dominada por ondas. As marés são do tipo semidiurna (período médio de 12,42h), apresentando duas preamares e duas baixamares por dia lunar (MANSO et al. 1995). O estuário do rio Goiana, segundo Barletta & Costa (2009) encontra-se sob regime de mesomaré (0,0 a 2,7 m), com ciclos de maré semi-diurnas e possui vazão média de água com cerca de 11 m³s⁻¹ (0,5 a 25,0 m³s⁻¹). O estuário é do tipo 1A, bem misturado, com pouca descarga de rio e maré apreciável (FACEPE, 2013). Barletta & Costa (2009) também afirmam que o canal principal do sistema estuarino do rio Goiana pode ser subdividido em três setores: setor superior (maior influência da descarga de rio), setor médio e setor inferior (maior aporte de águas costeiras), de acordo com o gradiente de salinidade e os parâmetros geomorfológicos da região (Figura 2).

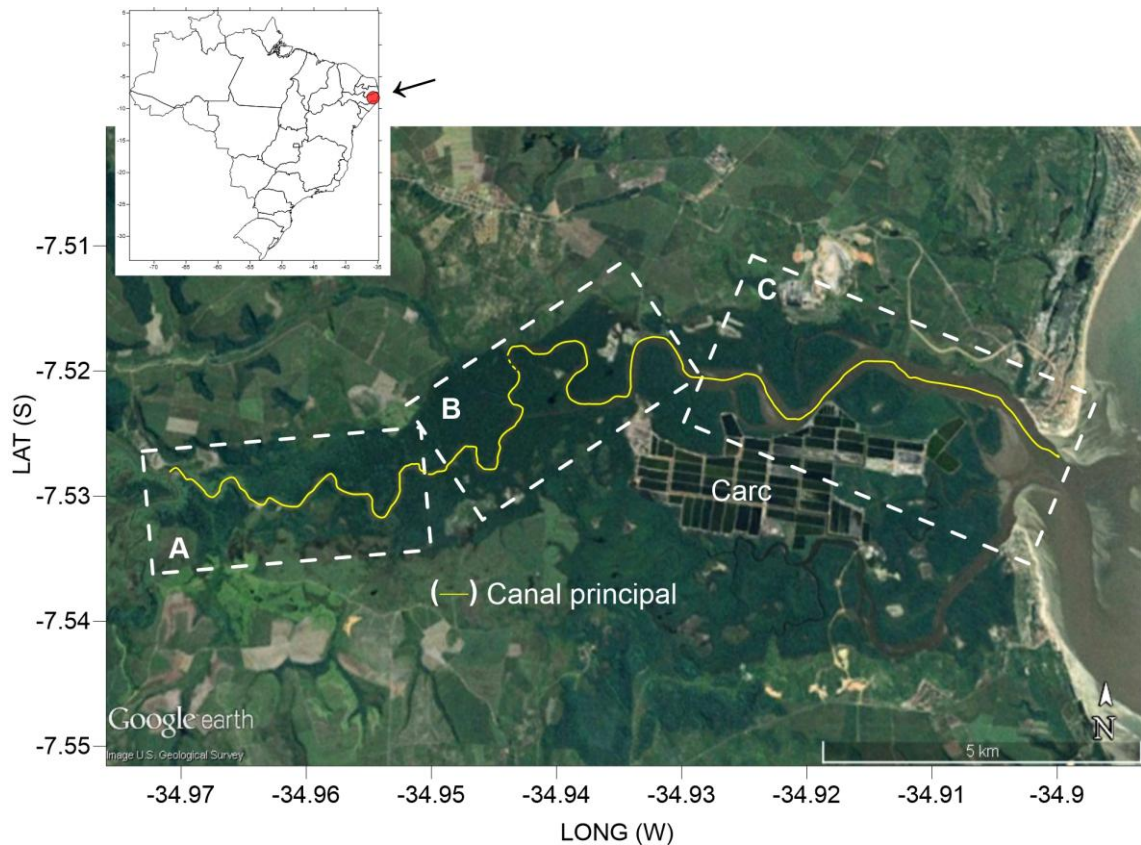


Figura 2. Mapa de setorização do estuário do rio Goiana baseado em Barletta & Costa (2009): Estuários (A) superior, (B) médio e (C) inferior e área de Carcinocultura (Carc). Imagem retirada do Google Earth (2015) e adaptada de acordo com Lima (2015).

2.6. Vegetação

O litoral de Pernambuco possui uma gama de ecossistemas altamente produtivos, chegando a ser considerado como a “região verde” do estado, uma vez que, apresenta segmentos de planície recobertos por coqueirais, restingas, remanescentes de Mata Atlântica, estuários com extensos manguezais, recifes de coral, ilhas, entre outros (MANSO et al., 2006). No entanto, parte dessa diversidade biológica tem sido devastada, desde os tempos coloniais, pelo cultivo da cana-de-açúcar e do côco (CPRH, 2003).

No litoral Norte, especificamente no município de Goiana, as remanescentes de Mata Atlântica são escassas, perfazendo partes do rio Tracunhaém, localizado ao norte da vila de Tejucopapo (Mata de Megaó), a oeste da BR-101 (matas da Usina Santa Tereza) e em seus entornos, entre o rio Capibaribe Mirim e a divisa dos estados de Pernambuco – Paraíba. Contudo, o município possui uma Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN), apresentando área de aproximadamente 192.300 m², sendo esta considerada em bom estado pela Gerência de Áreas Protegidas da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). Esta

RPPN encontra-se localizada na Fazenda Tabatinga e apresenta uma área de aproximadamente 4,76 km² pertencente à Companhia Agro-industrial de Goiana (Usina Santa Tereza). Apresenta também as mais extensas faixas de manguezais do litoral Norte do Estado, margeando o estuário do rio Goiana (CPRH, 2003).

2.7 Climatologia

No Estado de Pernambuco, há duas tipologias identificadas e ocorrentes, cada qual em uma área distinta. O clima tropical é predominante na Zona da Mata (baixada litorânea), apresentando temperaturas que podem atingir aos 24°C e chuvas com variações em torno dos 1.500 mm anuais, possuindo o maior índice no litoral (2.000mm/ano). Pernambuco apresenta uma zona de transição climática entre o clima seco do sertão e o clima úmido do litoral, mais precisamente, na Zona da Mata (MMA, 2006).

O regime de ventos em toda região costeira do estado caracteriza-se por ser regular, sazonal, com predomínio de 90% dos sopros para o setor E-SE, apresentando velocidades médias de 3 a 5 m/s (MANSO et al., 1995).

O município de Goiana possui um clima, de acordo com a classificação de Köppen, tropical úmido do tipo As', com temperatura média do ar de 25°C, oscilando de 27°C nos meses de verão e 24°C nos meses de inverno (BARLETTA; COSTA, 2009). A precipitação média anual é de 1.634,2 mm (CPRM, 2005).

2.8. Uso e Ocupação do Solo

O litoral Norte apresenta nove tipos de atividades significativas para o uso e ocupação do solo. De acordo com os elementos que as constituem, foram agrupadas três categorias representantes: áreas com predomínio de atividades agropecuárias (61,2%) incluindo as atividades de carcinocultura e cana-de-açúcar, áreas com predomínio de uso urbano (8,4%) e ecossistemas naturais (30,4%) (CPRH, 2003) (Figura 3).

O município de Goiana representa 47,5% (maior parcela) para o padrão de uso do solo ligado ao cultivo de cana-de-açúcar, dentre os municípios do litoral Norte. E, em alguns estuários situados nessa região, a aquicultura tem se apresentado como uma atividade em expansão, desenvolvendo tanto o cultivo artesanal de peixe, camarão e ostra quanto a grande produção do camarão marinho, realizada com tecnologia avançada e em larga escala. No ano de 2003, essas duas modalidades pesqueiras ocupavam uma área total de 13,6 km², onde 70,0% perfaziam ao município de Goiana, 23,2% Itapissuma e 6,8% Itamaracá (PE) (CPRH, 2003). No caso, do estuário do rio Goiana, além do grande desenvolvimento nas áreas de

cultivo de cana-de-açúcar encontram-se também atividades voltadas à carcinocultura, onde estas associam-se com o desmatamento do manguezal. O maior projeto do gênero está relacionado à empresa *Atlantis Aquacultura*, situada na ilha de Tiriri (PE), que chega a ocupar 7,71 km² de área, possuindo cerca de setenta viveiros de 80.000 m² em média, 45 em operação e 25 em fase de instalação, desde a época da pesquisa ocorrida em 1999 pela CPRH (CPRH, 2003). No entanto, mesmo com a intensa produção nas áreas, ainda assim encontram-se porções significativas de vegetação de mangue preservadas (GARLIPP et al., 2010).

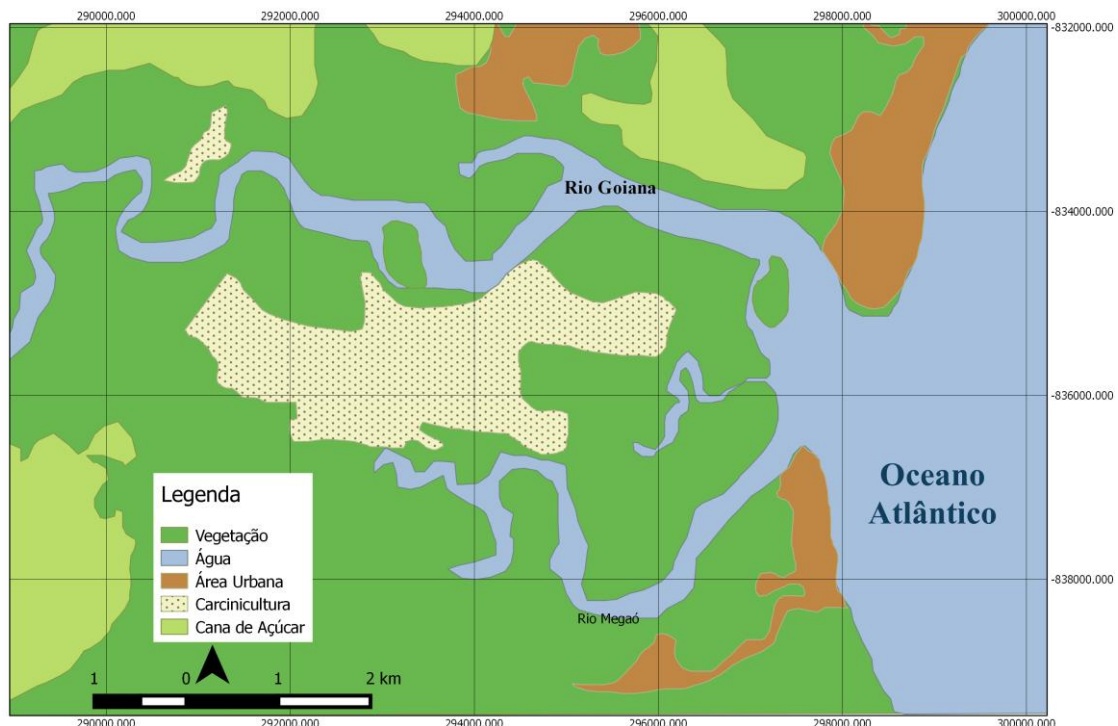


Figura 3. Mapa de uso e ocupação do solo no estuário do rio Goiana (PE). Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000 - Zona 25 S Edição de laboratório: Athos Farias Menezes - LABOGEO/UFPE.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar a distribuição sedimentar atual e o comportamento da matéria orgânica sedimentar como indicadores ambientais no sistema estuarino do rio Goiana (PE).

3.2 Objetivos Específicos

- Analisar os parâmetros sedimentológicos e as características composicionais da matéria orgânica sedimentar no sistema estuarino do rio Goiana (PE);

- Determinar as concentrações do carbono e nitrogênio elementar e as razões isotópicas da matéria orgânica sedimentar;
- Confeccionar cartas de distribuição espacial dos parâmetros analisados;
- Correlacionar todos os parâmetros analisados e compreender os processos sedimentares e geoquímicos ocorrentes na região;
- Avaliar os possíveis impactos ambientais existentes na área por meio dos parâmetros sedimentológicos e geoquímicos utilizados na pesquisa;

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Atividades de campo

Em campo, vinte e três amostras de sedimentos superficiais foram coletadas no dia 8 fevereiro de 2012 no sistema estuarino do rio Goiana, com o auxílio de um amostrador de mandíbulas tipo *Van Veen*. A localização dos pontos de amostragem foi obtida por meio de um GPS e os dados batimétricos através de um ecobatímetro *Garmin*.

As amostragens do presente estudo representam dois setores do sistema denominados de setor médio e inferior, de acordo com a classificação adotada para o mesmo (BARLETTA; COSTA, 2009). As amostragens perfazem parte do setor médio e todo o setor inferior do canal principal do estuário do rio Goiana (Figura 4).

As coletas compreenderam uma extensão de 11 km da área do canal principal do sistema estuarino. De modo que os perfis batimétricos foram obtidos através de um ecobatímetro, sendo realizados perpendiculares ao eixo do canal estuarino espaçados de 100 em 100 m cortados por dois perfis longitudinais paralelos ao eixo do estuário, estimando-se cerca de 60 km de linhas contínuas armazenadas de 10 em 10 segundos no sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) e no Datum World Geodetic System (WGS) 84.

De cada amostra coletada, foram retiradas cerca de 20g de sedimentos para a análise da matéria orgânica sedimentar (elementar e isotópica), em seguida congeladas a bordo, com o intuito de diminuir os processos de oxidação do sedimento e alteração dos parâmetros orgânicos (LAMB et al., 2006; MEYERS, 1997; STEIN, 1991). O restante da amostra, cerca de 200g foram acondicionadas em potes plásticos, identificados para as análises granulométricas, da fração arenosa, do carbonato biodetrítico e da matéria orgânica total.

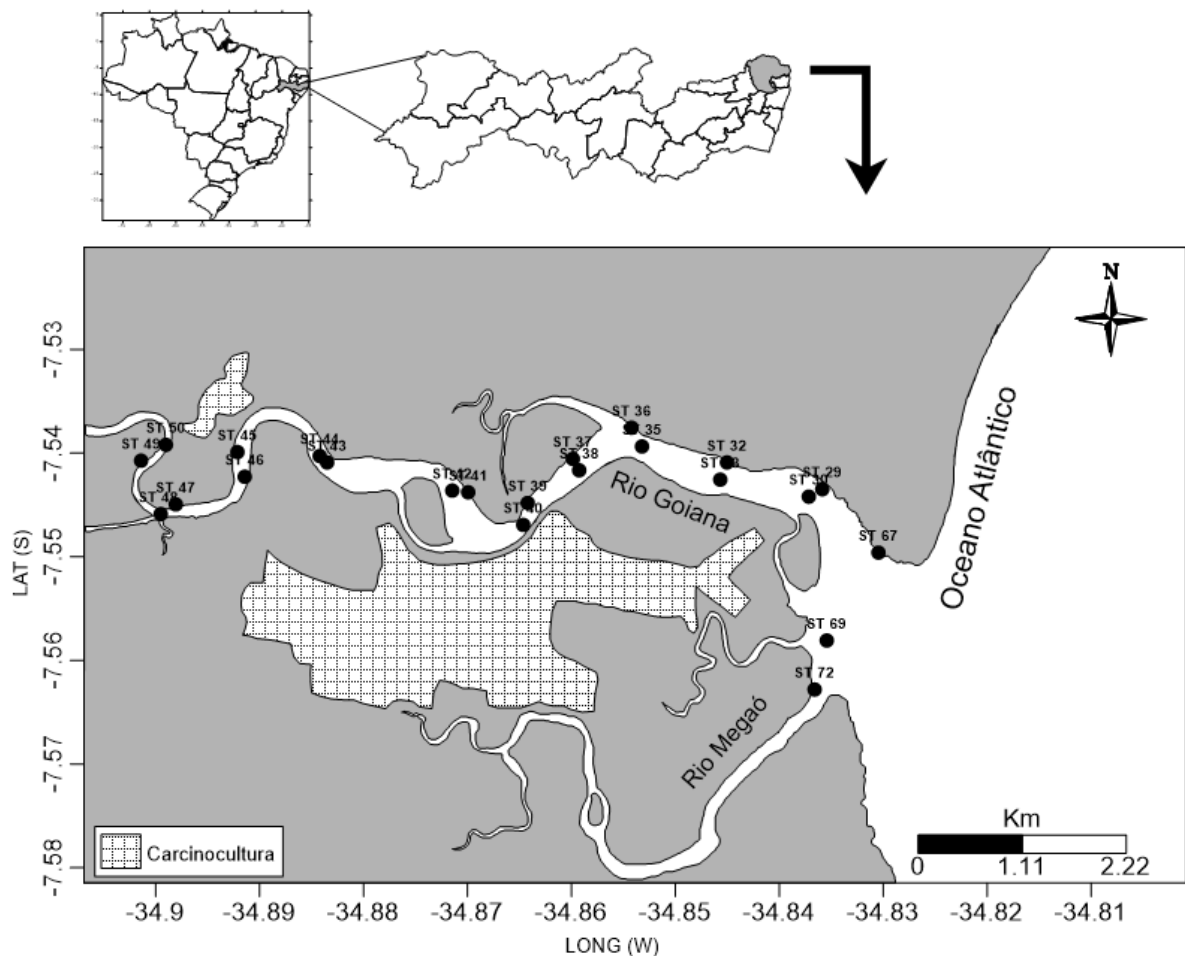


Figura 4. Mapa de localização das estações de coleta de sedimentos superficiais no estuário do rio Goiana (PE).

4.2 Atividades de laboratório

4.2.1 Tratamento dos dados batimétricos

Após a etapa de campo, os registros batimétricos foram tratados e corrigidos em relação à variação da amplitude de maré. Foi realizada a redução dos dados no nível/cota da baixa-mar de sigízia, conforme nível de redução (NR) fornecido pelas Cartas Náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). A partir de então, mapas batimétricos e Modelos Digitais de Terreno (MDT) foram elaborados através do programa *Mat Lab* sob a supervisão do Prof. Dr. Antônio F. H. F. Filho, do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

4.2.2 Análise granulométrica dos sedimentos superficiais

As análises granulométricas dos sedimentos superficiais foram efetuadas de acordo com as técnicas de peneiramento e pipetagem descritas por Suguio (1973) no Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) pertencente ao Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Após a obtenção dos resultados, os dados foram tratados segundo os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e classificados também de acordo com o diagrama triangular de Shepard (1954). Os parâmetros estatísticos obtidos por meio desta análise servem em estudos de sedimentologia, para a avaliação das variações de energia deposicional de ambientes submersos.

4.2.3 Análise do conteúdo de carbonato de cálcio e matéria orgânica total

Os conteúdos de carbonato de cálcio (CaCO_3) e matéria orgânica total (MOT) dos sedimentos foram determinados a partir da diferença, em peso seco, antes e após ataque com solução de ácido clorídrico (HCl) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), respectivamente, diluídos a 10% (CARVER, 1971) e foram realizadas no Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) pertencente ao Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

4.2.4 Análise da fração arenosa

Os dados foram tratados de acordo com o método “*coarse fraction analysis*”, proposto por Shepard & Moore (1954), e modificado por Mahiques (1987), consistindo na identificação e contagem dos constituintes das frações retidas nas peneiras de malhas 0,500 mm (1 ϕ) e 0,250 mm (2 ϕ). Os sedimentos foram analisados em lupa binocular, em seguida, após a observação total da amostra, foram contados e identificados aproximadamente 200 grãos, a partir de modificação do proposto por Hubert (1971). Esta análise foi realizada no Laboratório de Apoio Didático Multiusuário (LADIM) pertencente ao Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). De acordo com Mahiques et al. (1998) através desta análise é possível realizar uma caracterização de subambientes em áreas costeiras.

O primeiro tratamento para análise dos dados foi determinar um índice que poderia fornecer uma medição da influência biogênica marinha sobre cada amostra. Este índice é conhecido como índice de biogênicos marinhos (BM), sendo definido pela diferença entre a frequência relativa dos constituintes biogênicos marinhos e terrígenos. O índice BM é uma medida de tendência da influência biogênica marinha sobre uma determinada amostra,

variando de (-1.0) a (1.0) de modo que os valores mais próximos de (-1.0) estão relacionados a um maior aporte de constituintes continentais (MAHIQUES et al., 1998).

4.2.5 Análise do C e N elementares e das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) da matéria orgânica sedimentar

A análise do conteúdo de carbono e nitrogênio elementares, expressos em mg(elemento)/g (peso seco da amostra), foram efetuadas após um tratamento preliminar da amostra para a eliminação do CaCO_3 existente, conforme descrito em Hedges & Stern (1984).

O estudo de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio consiste em uma das análises mais utilizadas atualmente na identificação da origem da matéria orgânica. A composição isotópica de carbono e nitrogênio foi determinada pela combustão automática da amostra em um analisador elementar Carlo Erba (CHN-1110), acoplado a um espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus. Estes dados, expressos em %, são obtidos em conjunto com os valores das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$). As amostras foram queimadas em meio oxidante, e os gases produzidos, separados por cromatografia gasosa, purificados e carregados por um fluxo contínuo de Hélio. Estas análises foram realizadas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP) localizado no campus ESALQ em Piracicaba (SP). Os valores das razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) (em partes por mil) são referidos, respectivamente, ao PDB (Pee Dee Belemnite) e ao Ar (ar atmosférico).

4.2.6 Análise das razões elementares C/N

A razão C/N tem sido utilizada na determinação da predominância de contribuição continental ou marinha presente nos sedimentos (BARCELLOS; FURTADO, 2006; SAITO et al., 1989). É calculada baseando-se na análise quantitativa de carbono orgânico total (COT) associado aos dados de nitrogênio total (NT).

4.2.7 Estado Trófico do Sistema Estuarino

Para se realizar uma aproximação do índice do estado trófico da região, utilizou-se a classificação proposta por Hakanson (1984 apud BUENO, 2012), onde o autor utiliza como indicador o “*Bio Production Number*” (BPN), obtido através do cálculo baseado nas concentrações de nitrogênio total e matéria orgânica total (MOT) contidos nos sedimentos. Vale ressaltar, que para o uso desse cálculo, deve-se utilizar amostras com valores < 20% de MOT, como estabelece a metodologia.

No presente estudo, avaliou-se o estado trófico das estações, com base nos resultados do índice BPN:

$$\text{BPN} = \text{NT}(\%)/\text{MOT}(\%)*100$$

Intervalos utilizados para a determinação do estado trófico:

BPN = 0 a 0,33 (oligotrófico)

BPN = 0,33 a 0,45 (mesotrófico)

BPN = 0,45 a 0,65 (eutrófico)

BPN = > 0,65 (hipertrófico)

4.2.8 Tratamento dos dados obtidos

Para estudos dos dados obtidos foram considerados parâmetros estatísticos para comparar a variabilidade espacial e a determinação das relações de independência entre variáveis aleatórias, utilizando o coeficiente de correlação não paramétrico de *Spearman (rs)* (FERNANDES, 1999), através do programa *Statistica*.

Os dados sofreram tratamento segundo os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e do diagrama triangular de Shepard (1954) através do programa *Sysgran (3.1)*. Foram confeccionados mapas de distribuição dos parâmetros sedimentares e geoquímicos: granulação, análise da fração arenosa, matéria orgânica sedimentar (CaCO_3 , C e N elementares e isotópicos), respectivamente, através do programa *Surfer for Windows, versão 8.0*. Os mapas serviram como subsídios para uma melhor compreensão acerca da distribuição da análise espacial dos parâmetros analisados de maneira pontual e quantitativa. O *software Primer 6.0* foi utilizado para a realização da análise de componentes principais (ACP) e o *software Statística ® v13* para a análise de agrupamento (*Cluster*).

4.2.8.1 Correlação de Spearman (rs)

O coeficiente de *Spearman (rs)* varia entre (-1) e (1). Quanto mais próximos os valores estiverem desses extremos, maior será a associação entre as variáveis. O sinal negativo da correlação significa que as variáveis variam em sentido inverso, ou seja, que as categorias com valores mais altos de uma variável estão associados às categorias de valores mais baixos da outra variável (FERNANDES, 1999).

4.2.8.2. Análise dos Componentes Principais (ACP)

Esta análise foi utilizada para determinar os parâmetros sedimentológicos e geoquímicos que melhor demonstravam a variabilidade ambiental encontrada na área de estudo. Como os parâmetros analisados no estudo apresentavam diferença nas unidades de grandeza, a matriz de dados foi previamente padronizada. Assim, os dados passaram por

transformação logarítmica [$\log_{10} (x+1)$] para aproximar as séries de dados da distribuição normal (REGAZZI, 2000).

4.2.8.3 *Análise faciológica através de técnica multivariada*

Para o tratamento conjunto dos dados, foi realizada uma análise de agrupamento (*Cluster*) com os parâmetros: MOT, CaCO_3 , COT, NT, cascalho, areia, silte e argila (%) e as razões isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$). Os parâmetros analisados que não se comportaram de maneira normal, sofreram transformações [$\log_{10} (x+1)$] para a normalização dos dados (REGAZZI, 2000). A “Distância Euclidiana” foi o índice de distância adotado e o método de análise de agrupamento foi a “Média Não Ponderada” (UPGMA).

A análise de agrupamento (*Cluster*) tem por objetivo formar grupos a partir da similaridade das variáveis verificadas. Essas variáveis, quando agrupadas, permitem reconhecer o grau de semelhança entre as mesmas, reunindo ou separando em grupos os objetos de estudo, no caso as fácies sedimentares. Os resultados obtidos a partir da análise de agrupamento são geralmente apresentados na forma de diagramas hierárquicos (dendogramas) (ROMESBURG, 1984).

A partir do dendograma gerado pela análise, foram definidos grupos, utilizando arbitrariamente o valor de corte 4,0 de distância.

A caracterização das amostras de acordo com os grupos permitiu identificar as fácies distintas existentes na área de estudo para os sedimentos superficiais do mesmo. O tratamento estatístico dos dados foi efetuado através do programa de *Statística* ® v13 (STATSOFT, 2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 *Dados batimétricos*

Os levantamentos batimétricos foram realizados ao longo do canal principal do estuário do rio Goiana (PE) desde a sua desembocadura até o setor médio do estuário. Baseando-se pela imagem confeccionada a partir dos dados obtidos (Figura 5) é possível verificar as partes mais profundas de acordo com os níveis de coloração mais intensas. Neste trabalho, as áreas que apresentam deposição de material sedimentar foram denominadas de “bancos”.

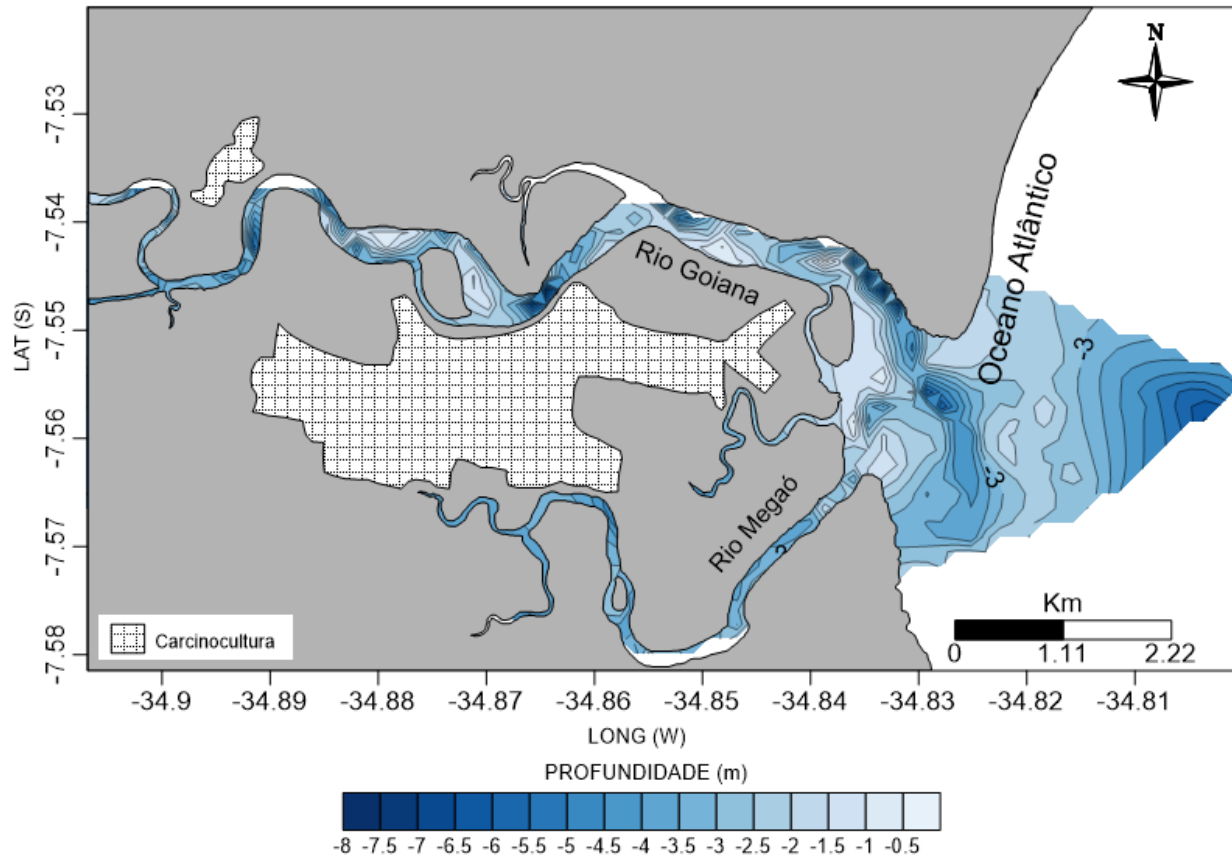


Figura 5. Mapa batimétrico do estuário do rio Goiana.

A profundidade no canal estuarino variou entre 0,10 e 10,79 m. Observou-se ao longo do canal áreas mais elevadas (bancos), apresentando maior deposição de material sedimentar e conseqüentemente demarcando as zonas mais rasas do mesmo. Enquanto, que as áreas mais profundas seguem pelo fluxo do canal principal. Nas margens opostas aos canais mais profundos, observa-se a existência de bancos.

5.2 Dados Sedimentológicos

Na tabela 1, estão expressos as coordenadas geográficas e os resultados obtidos para os dados sedimentológicos: granulação, classificação de Shepard (1954) e parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) das amostras coletadas nas estações sedimentares do sistema estuarino do rio Goiana.

Tabela 1 - Coordenadas geográficas e os dados sedimentológicos: granulação, classificação de Shepard (1954) e parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) das amostras coletadas em 08 de Fevereiro de 2012 nas estações de coleta do estuário do rio Goiana.

Estação	Latitude (S)	Longitude (W)	Shepard (1954)	Folk & Ward (1957)		% Grânulos	% Areia	% Silte	% Argila
				phi médio	G. seleção				
29	7°32,609'	34°50,152'	Areia	2,00	2,64	10,49	73,16	3,01	13,34
30	7°32,652'	34°50,230'	Areia argilosa	4,34	2,95	2,35	67,24	7,77	22,64
32	7°32,454'	34°50,702'	Areia argilosa	3,47	3,56	9,35	66,36	6,44	17,85
33	7°32,554'	34°50,741'	Areia	1,70	0,66	0,00	99,97	0,03	0,01
35	7°32,362'	34°51,193'	Areia	1,61	0,68	0,31	99,66	0,03	0,01
36	7°32,253'	34°51,253'	Areia argilosa	4,69	2,44	0,18	71,50	9,40	18,91
37	7°32,434'	34°51,592'	Areia	2,83	1,22	0,15	88,21	8,32	3,33
38	7°32,500'	34°51,555'	Areia	2,05	2,05	4,64	81,30	3,19	10,87
39	7°32,689'	34°51,852'	Areia	2,68	1,00	0,00	91,15	6,50	2,35
40	7°32,816'	34°51,878'	Areia	1,76	1,51	2,83	90,38	1,89	4,90
41	7°32,627'	34°52,196'	Areia	1,26	0,74	0,88	99,09	0,03	0,01
42	7°32,617'	34°52,288'	Areia	2,79	0,49	0,00	99,72	0,22	0,06
43	7°32,454'	34°53,010'	Areia	1,78	0,67	1,44	98,56	0,00	0,00
44	7°32,417'	34°53,053'	Silte argiloso	5,68	1,87	0,08	11,28	67,94	20,71
45	7°32,395'	34°53,528'	Areia	2,92	0,35	0,00	99,68	0,26	0,06
46	7°32,537'	34°53,486'	Areia siltica	2,12	2,74	14,32	67,12	11,66	6,90
47	7°32,697'	34°53,884'	Silte argiloso	6,52	1,94	0,22	11,84	50,49	37,45
48	7°32,753'	34°53,971'	Areia	1,92	0,31	0,00	99,95	0,04	0,01
49	7°32,444'	34°54,084'	Silte argiloso	6,11	2,09	0,16	22,46	43,48	33,90
50	7°32,352'	34°53,941'	Argila siltico-arenosa	6,16	2,15	0,27	29,26	28,86	41,61

Estação	Latitude (S)	Longitude (W)	Shepard (1954)	Folk & Ward (1957)		% Grânulos	% Areia	% Silte	% Argila
				phi médio	G. seleção				
67	7°32,976'	34°49,828'	Areia	2,42	0,95	0,62	97,36	1,62	0,40
69	7°33,485'	34°50,126'	Areia	2,41	1,33	4,12	92,77	2,50	0,62
72	7°33,769'	34°50,196'	Areia	2,12	0,78	1,24	98,62	0,11	0,03

5.2.1 Fácies Texturais segundo Shepard (1954) e parâmetros de Folk & Ward (1957)

Com base nos resultados obtidos através do diagrama triangular de Shepard (1954), a área de estudo apresentou cinco classes granulométricas distintas de sedimentos (Figura 6) (Tabela 2).

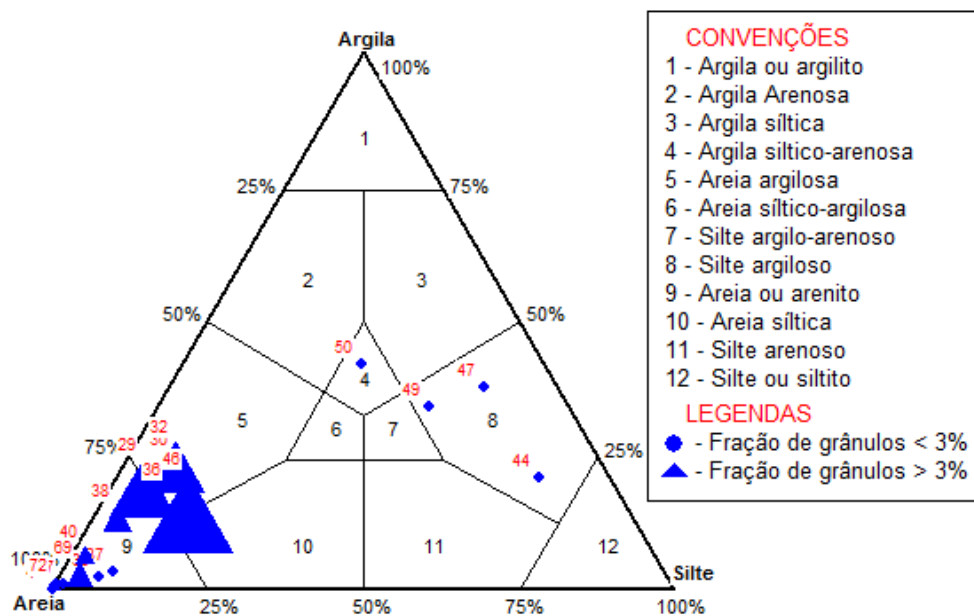


Figura 6. Diagrama triangular de Shepard (1954) das amostras do estuário do rio Goiana.

Tabela 2 - Classificação das amostras segundo Shepard (1954).

Fácies Texturais	Percentual (%)
Argila siltico-arenosa	4,34%
Areia argilosa	13,05%
Silte argiloso	13,05%
Areia	65,22%
Areia siltica	4,34%

Observou-se nos resultados analisados uma heterogeneidade nos tipos de sedimentos presentes na área de estudo, de acordo com os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957). Os mesmos apresentam diâmetro médio com intervalos: 1 a 2ϕ = areia média, 2 a 3ϕ = areia fina, 3 a 4ϕ = areia muito fina, 4 a 5ϕ = silte grosso, 5 a 6ϕ = silte médio, 6 a 7ϕ = silte fino (Figura 7).

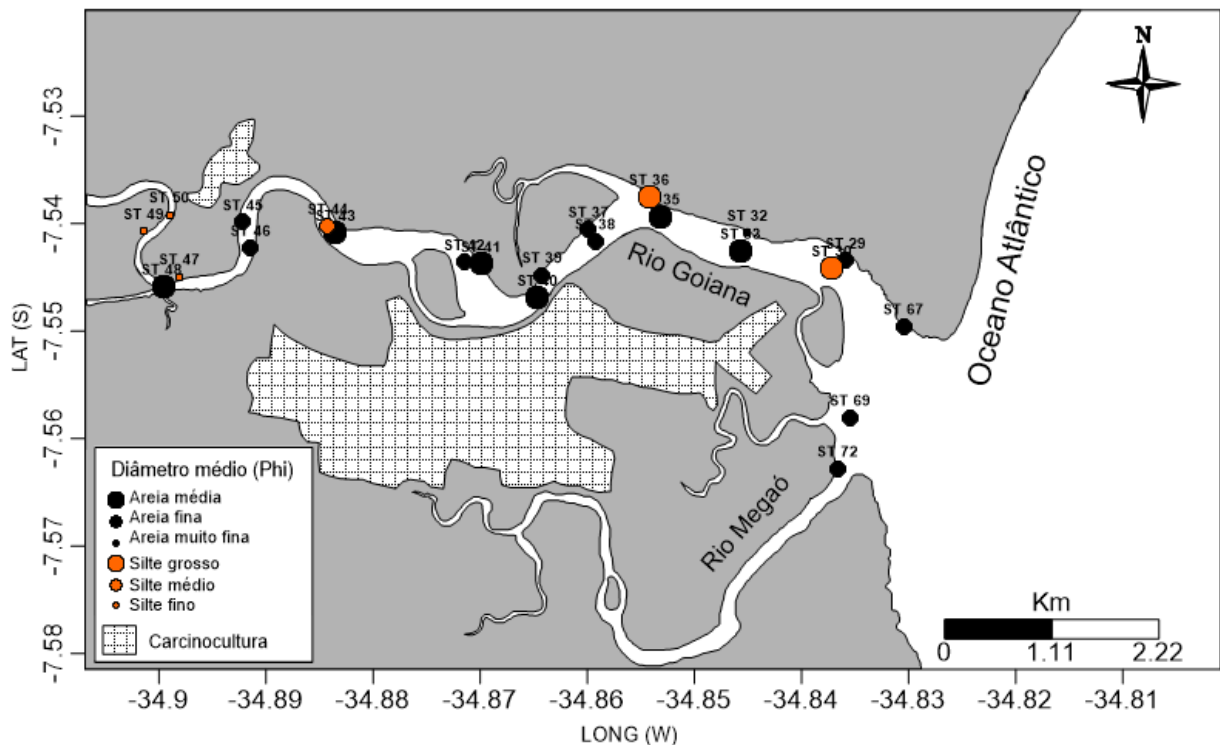


Figura 7. Mapa de distribuição do diâmetro médio dos sedimentos do estuário do rio Goiana.

No presente estudo, foram encontrados sedimentos que variaram de areia média a silte fino, prevalecendo o predomínio dos sedimentos arenosos, apresentando diâmetro médio entre 1,26 a $3,47\phi$ (Figura 8). A classe arenosa predominante é de areia fina (43,47%), seguida de areia média (26,10%).

Os sedimentos arenosos e areno-argilosos são predominantes no setor inferior do estuário na desembocadura, enquanto que na parte mais à montante do setor médio do canal, localizada cerca de 10 km da desembocadura do sistema, encontram-se sedimentos mais lamosos como siltes argilosos.

Resultados similares foram encontrados por Barros (2008) no Canal de Santa Cruz (PE), apresentando as concentrações de areias médias junto às desembocaduras e por Silva (2008) no estuário do rio Formoso (PE), registrando percentuais de areia superiores a 80%. O autor afirma que, altas concentrações de areia indicam que os sedimentos disponíveis no

ambiente estão expostos a condições de alta energia, e que normalmente, o transporte das partículas sedimentares ocorre em contato com a superfície de fundo sob esta intensidade hidrodinâmica.

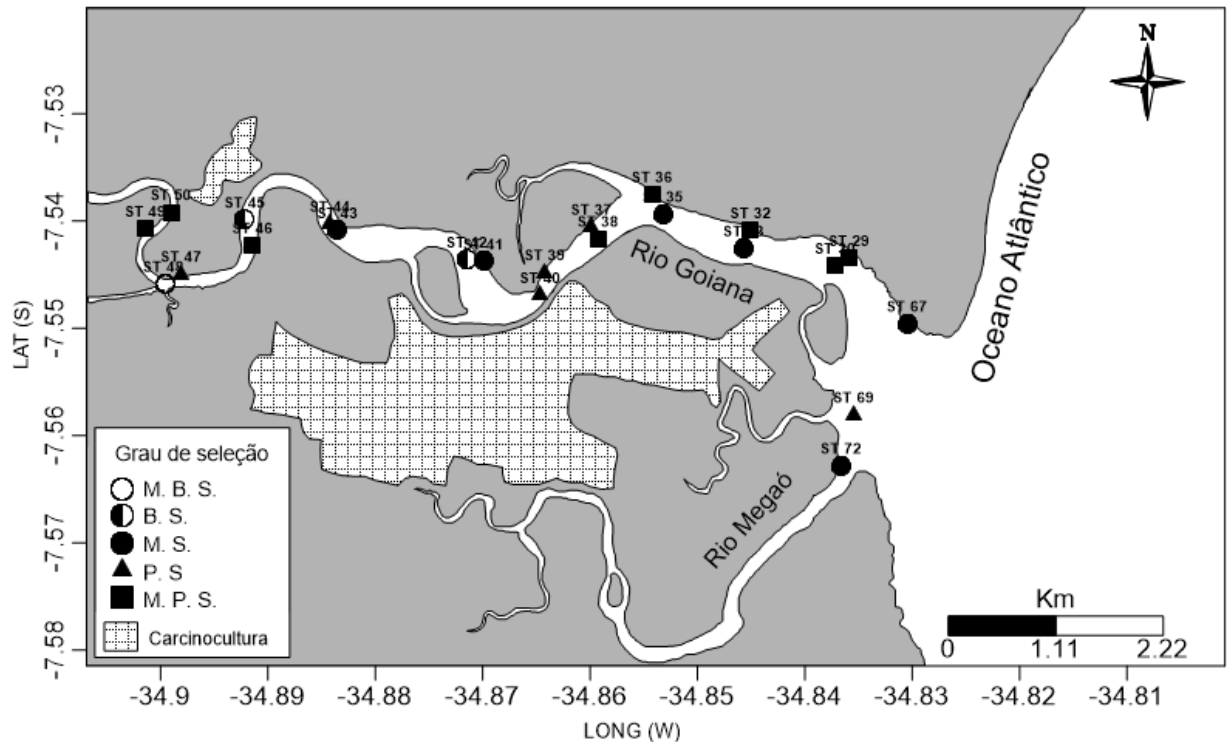


Figura 8. Mapa do grau de seleção dos sedimentos do estuário do rio Goiana. Legenda: M.B.S. (Muito bem selecionado); B.S. (Bem selecionado); M.S. (Moderadamente selecionado); P.S. (Pobremente selecionado); M.P.S. (Muito pobremente selecionado).

Essa distribuição reflete a dinâmica do sistema, no qual correntes mais fortes geradas pelo fluxo fluvial em conjunção com as correntes de marés (no caso meso-marés: 2,7m na sizígia) são mais efetivas no setor inferior do estuário. Enquanto que em suas porções mais internas e confinadas predominam sedimentos lamosos carregados pelo próprio rio e que ficam retidos principalmente nos flancos e junto às margens do canal fluvial. Silva (2008) também encontrou este padrão para a fração lamosa de seu estudo. O autor afirma que, essas concentrações, muito provavelmente, estão associadas à baixa energia hidrodinâmica dos setores associados às áreas de menor profundidade e pontos de confluência de afluentes, predominando assim, o processo de deposição nesta área.

Nas amostras, foram observadas desde sedimentos muito bem selecionados a muito pobremente selecionados. Houve predominância de sedimentos muito pobremente selecionados (34,78%) distribuídos de forma irregular ao longo do estuário. Enquanto que no setor inferior do canal houve predomínio de sedimentos moderadamente selecionados

(26,09%), e aqueles muito bem selecionados, foram encontrados apenas no setor médio do estuário (4,35%). Em estudos no rio Jaboatão (PE), Barcellos et al. (*in press*) também registraram predomínios de sedimentos muito pobremente selecionados, perfazendo em sua maioria sedimentos da fração areia (vide Figura 8).

5.2.2 Fração Cascalho

A fração cascalho variou de 0,0 a 14,32% ao longo do canal estuarino (Figura 9).

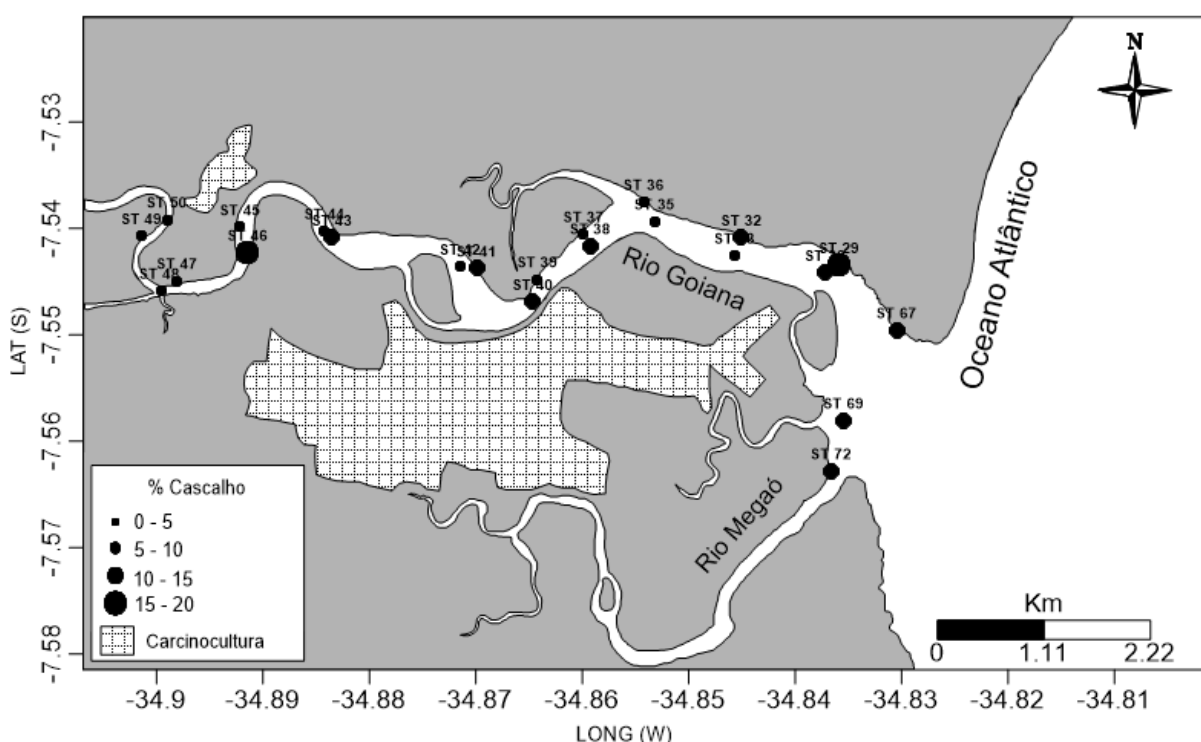


Figura 9. Mapa de distribuição dos teores de cascalho (%) dos sedimentos do estuário do rio Goiana.

Elevados teores de cascalho foram encontrados no setor inferior do estuário (ST29=10,49% e ST30=9,35%), próximos à desembocadura do sistema na qual sofre maior influência hidrodinâmica e um maior aporte de material marinho, consequentemente, uma maior contribuição de material biogênico. No entanto, na porção à montante do setor médio (ST46=14,32%) foi registrado um pico desta fração, representando o maior conteúdo de cascalho encontrado ao longo do estuário.

Este parâmetro apresentou correlação significativa com os teores de CaCO_3 ($r_s=0,62$; $p<0,05$) e $\delta^{13}\text{C}$ ($r_s=0,47$; $p<0,05$) ao longo do sistema (Tabela 3).

Vale ressaltar que não é tão comum encontrar teores elevados deste material em porções mais internas de estuários, uma vez que, o fluxo hidrodinâmico nestes setores é menor. Assim, sugere-se que nesta área, pode estar havendo uma contribuição, não somente

de material litogênico, mas também, de possíveis fontes externas, tais como derivadas de atividades de carcinocultura que encontram-se adjacentes à estação.

Tabela 3 - Coeficiente de Correlação de Spearman (r_s) entre as variáveis analisadas no estuário do rio Goiana.

	% MOT	% CaCO ₃	%COT	%NT	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	D. Médio	C/N	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
% MOT	1,00											
% CaCO ₃	0,67	1,00										
%COT	0,06	0,16	1,00									
%NT	0,09	0,26	0,97	1,00								
% Cascalho	0,30	0,62	0,25	0,30	1,00							
% Areia	-0,80	-0,78	-0,08	-0,12	-0,34	1,00						
% Silte	0,75	0,62	0,04	0,06	0,05	-0,91	1,00					
% Argila	0,85	0,70	-0,02	0,00	0,21	-0,92	0,92	1,00				
D. Médio	0,63	0,49	0,03	0,04	-0,22	-0,70	0,82	0,78	1,00			
C/N	-0,07	-0,12	0,88	0,81	0,14	0,10	-0,09	-0,15	-0,13	1,00		
$\delta^{13}\text{C}$	0,03	0,38	0,58	0,63	0,47	-0,07	-0,03	-0,01	0,00	0,37	1,00	
$\delta^{15}\text{N}$	-0,18	0,01	-0,10	-0,03	0,14	0,12	-0,16	-0,23	-0,31	-0,07	0,15	1,00

5.2.3 Fração Areia

A distribuição das areias é heterogênea ao longo do estuário com variações de 11,28% a 99,97%, sendo esta fração predominante no ambiente (Figura 10).

Observa-se que no setor inferior do canal do estuário houve uma maior contribuição desta fração, com teores (> 65%), embora sejam encontrados altos teores no setor médio do mesmo (ST43=98,56%, ST45=99,68% e ST48=99,95%). Esse predomínio demonstra basicamente que todo o sistema sofre influências de duas forçantes: fluvial e marinha. No entanto, é possível observar que a maioria dos núcleos de material mais arenoso estão praticamente dispersos em todo o setor inferior do estuário, onde a forçante marinha é mais ativa, com fluxos mais intensos de correntes. Este processo faz com que haja uma distribuição de grãos de maior tamanho, enquanto que os menores teores de areia estão na porção mais a montante do setor médio, ocorrendo manchas de material lamoso.

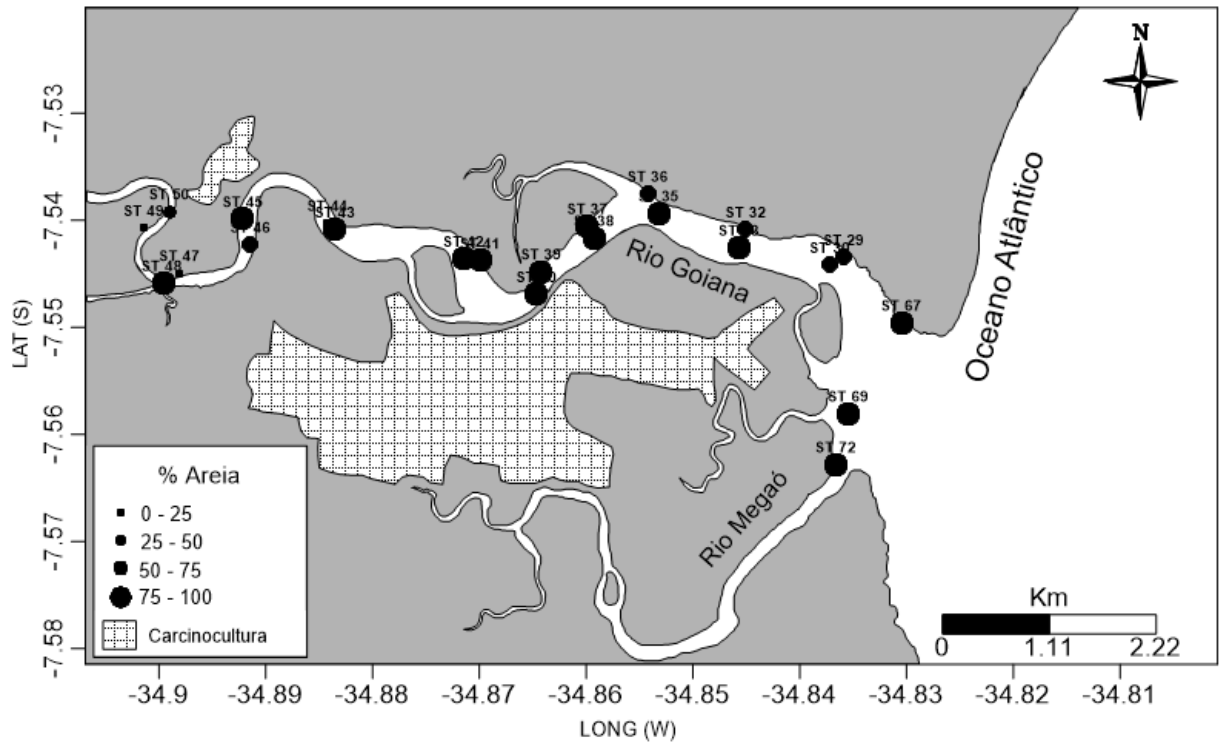


Figura 10. Mapa de distribuição dos teores de areia (%) dos sedimentos do estuário do rio Goiana.

5.2.4 Fração Silte

O mapa de distribuição da fração silte apresentou uma distribuição que indica uma predominância desta fração no setor médio do canal estuarino (Figura 11).

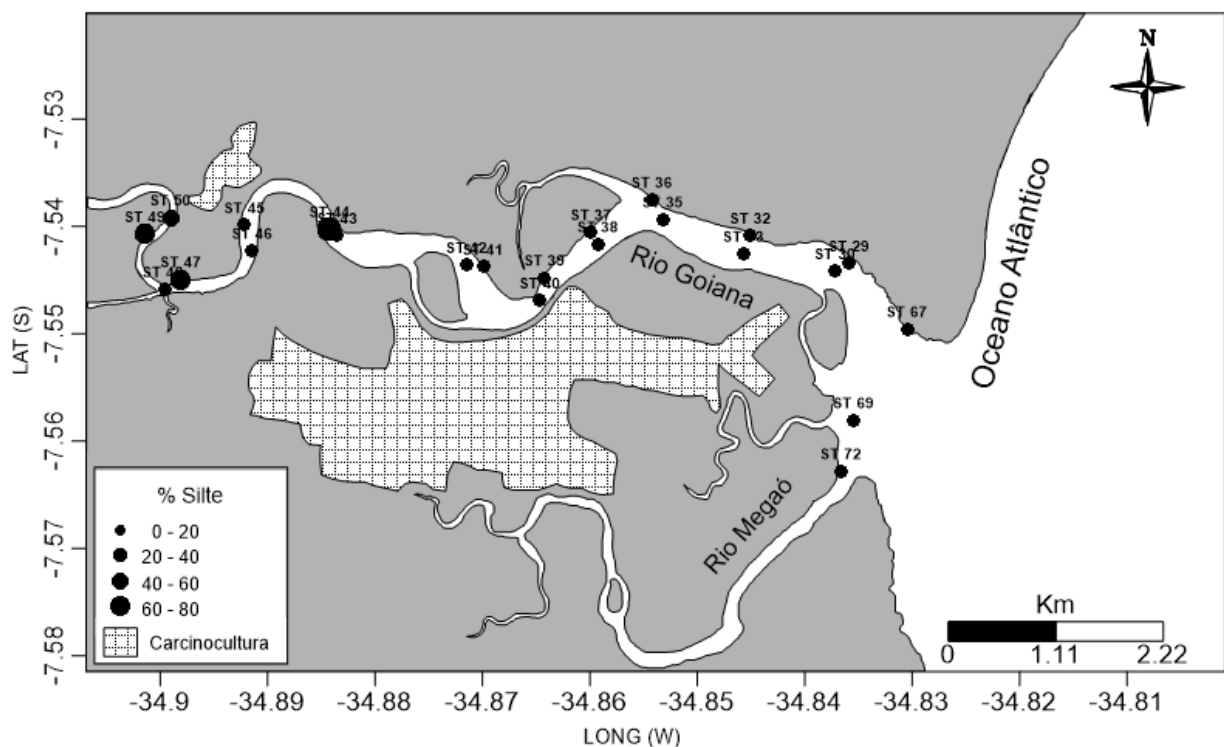


Figura 11. Mapa de distribuição dos teores de silte (%) dos sedimentos do estuário do rio Goiana.

Os teores de sedimentos siltosos demonstraram uma variação de 0,00 a 67,94% para o estuário. A estação (ST44=67,94%) apresentou o maior teor de silte no sistema, sendo localizada no setor médio do estuário, indicando que nesta estação a hidrodinâmica do sistema foi mais baixa, possibilitando assim a deposição desta fração na área.

5.2.5 Fração Argila

A distribuição dos teores de argila apresentou uma maior contribuição no setor médio do canal estuarino, com teores, em sua maioria, acima de 20% (Figura 12). Os conteúdos desta fração variaram de 0,0 a 41,61%. A amostra que apresentou maior percentual de argila (ST50=41,61%) representa a última estação de coleta à montante do segmento fluvial estuarino. No setor inferior do estuário também foram encontrados teores elevados em algumas estações (ST38=10,87%, ST29=13,34%, ST32=17,85%, ST36=18,91% e ST30=22,64%), sendo a última a mais representativa nesta área.

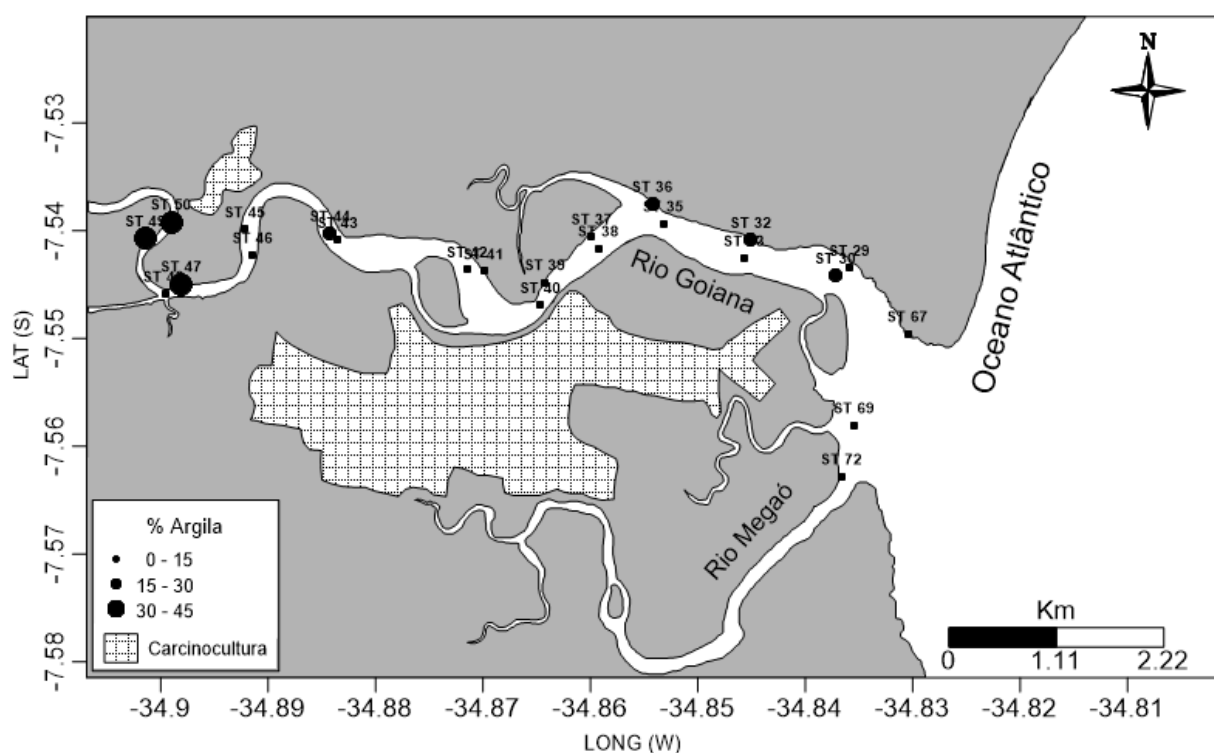


Figura 12. Mapa de distribuição dos teores de argila (%) dos sedimentos do estuário do rio Goiana.

5.2.6 Análise Composicional da Fração Arenosa

Nas amostras analisadas para a fração arenosa, foram identificados: moluscos (MOL), briozoários (BRI), foraminíferos (FOR), poliquetas (POL), cirripédios (CIR), fragmentos de coral (CORAL), quitina (QUI), escafópoda (ESC), outros biogênicos marinhos (OBM), quartzo (QTZ), quartzo limnotizado (QLIM), mica (MICA), minerais pesados (MPES),

fragmentos de rocha (FROC) e fragmentos vegetais (FVEG). Para o total do grupo de biogênicos marinhos foi utilizada a sigla (TBM) e para os constituintes terrígenos (TTR).

As tabelas 4 e 5 apresentam os resultados das análises das frações 0,500 mm (1 ϕ) e 0,250 mm (2 ϕ) respectivamente.

Tabela 4 - Frequências relativas (%) e índice de biogênicos marinhos (B.M) dos constituintes identificados na fração 0,500 mm (1 ϕ) das amostras do estuário do rio Goiana.

Amostra	MOL	BRI	FOR	POL	CIR	CORAL	QUI	OBM	ESC	TBM	QZO	QLIM	MICA	MPES	FROC	FVEG	TTR	B.M 0,500mm
ST29	3,00	0,00	1,50	0,50	1,50	1,00	0,00	0,00	0,00	7,50	13,00	72,00	5,00	0,00	2,50	0,00	92,50	-0,85
ST30	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	3,50	6,00	71,00	3,50	0,00	0,00	16,00	96,50	-0,93
ST32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	62,50	4,50	11,50	15,50	0,00	100,00	-1,00
ST33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	69,50	27,00	0,00	0,00	3,50	0,00	100,00	-1,00
ST35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,00	74,00	0,00	1,00	6,00	0,00	100,00	-1,00
ST36	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	4,00	3,00	6,50	8,00	52,50	11,50	14,50	96,00	-0,92
ST37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,50	57,00	4,00	3,50	7,50	18,50	100,00	-1,00
ST38	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	10,50	76,50	0,00	0,00	5,00	5,50	97,50	-0,95
ST39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,00	0,00	2,50	5,00	9,00	70,50	100,00	-1,00
ST40	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	10,50	66,50	8,00	1,50	6,50	5,50	98,50	-0,97
ST41	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	2,50	0,00	5,50	65,50	26,50	0,00	1,50	0,00	1,00	94,50	-0,89
ST42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,50	0,00	7,00	22,50	48,00	10,00	100,00	-1,00
ST43	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	6,50	28,50	59,50	0,00	2,50	0,00	3,00	93,50	-0,87
ST44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,50	10,00	20,00	62,50	100,00	-1,00
ST45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,50	23,00	39,00	9,50	14,00	0,00	100,00	-1,00
ST46	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	3,50	8,00	30,50	14,00	10,00	16,00	18,00	96,50	-0,93
ST47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,50	13,50	100,00	-1,00
ST48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	24,00	56,00	0,00	3,50	0,00	100,00	-1,00
ST49	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	3,50	0,00	2,00	6,50	10,00	41,00	15,50	14,50	12,50	0,00	93,50	-0,87
ST50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	5,00	0,00	13,50	55,00	23,50	100,00	-1,00
ST67	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	27,00	0,00	0,00	0,00	31,50	53,50	0,00	0,00	1,50	3,00	10,50	68,50	-0,37
ST72	8,50	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	12,50	17,00	66,00	0,00	0,00	1,50	3,00	87,50	-0,75

Tabela 5 - Frequências relativas (%) e índice de biogênicos marinhos (B.M) dos constituintes identificados na fração 0,250 mm (2 ϕ) das amostras do estuário do rio Goiana.

Amostra	MOL	BRI	FOR	POL	CIR	CORAL	QUI	OBM	ESC	TBM	QTZ	QLIM	MICA	MPES	FROC	FVEG	TTR	B.M 0,250mm
ST29	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	9,00	48,00	20,50	3,50	9,50	3,00	6,50	91,00	-0,82
ST30	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	2,00	14,50	63,50	3,00	7,00	4,50	5,50	98,00	-0,96
ST32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,50	48,50	7,50	2,00	20,50	11,00	100,00	-1,00
ST33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	66,00	24,00	0,00	5,50	4,50	0,00	100,00	-1,00
ST35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,00	61,00	0,00	2,00	8,00	0,00	100,00	-1,00
ST36	0,50	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	5,50	30,00	39,50	7,50	6,50	4,00	7,00	94,50	-0,89
ST37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,50	63,50	4,50	0,00	7,00	7,50	100,00	-1,00
ST38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,50	69,50	0,50	0,00	4,00	4,50	100,00	-1,00
ST39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,00	24,50	5,50	3,50	6,50	21,00	100,00	-1,00
ST40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,50	56,50	2,50	0,00	14,00	6,50	100,00	-1,00
ST41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,00	52,50	2,50	0,00	4,00	2,00	100,00	-1,00
ST42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	23,00	0,00	7,50	16,00	5,50	100,00	-1,00
ST43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,00	26,50	3,50	3,00	3,00	2,00	100,00	-1,00
ST44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	2,50	0,00	42,00	51,50	100,00	-1,00
ST45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,50	26,50	38,00	5,00	13,00	1,00	100,00	-1,00
ST46	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,00	0,00	9,50	22,50	37,00	3,50	11,50	3,50	12,50	90,50	-0,81
ST47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	19,00	2,50	48,00	26,00	100,00	-1,00
ST48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	61,00	37,00	0,00	2,00	0,00	0,00	100,00	-1,00
ST49	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,50	0,00	9,50	26,00	16,50	4,50	0,00	7,50	36,00	90,50	-0,81
ST50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,50	0,00	6,50	22,50	36,00	27,50	100,00	-1,00
ST67	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,50	0,00	0,00	0,00	26,50	46,00	0,00	4,50	6,50	4,00	12,50	73,50	-0,47
ST72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00	0,50	9,50	19,50	61,00	1,50	0,00	0,00	8,50	90,50	-0,81

No presente estudo os resultados obtidos nas frações 0,500 mm (1 ϕ) e 0,250 mm (2 ϕ) foram interpretados de maneira diferenciada. Cada classe granulométrica analisada corresponde a um tipo de transporte distinto (tração e saltação), respectivamente, quando sujeitos a diferentes ações de correntes.

De acordo com Mahiques et al. (1998) estas variações ocorrem devido as diferenças das equivalências hidráulicas dos constituintes, sendo estas ocasionadas pelas diferenças de densidade e/ou forma das partículas. Assim, constata-se que devido a essas diferenças encontradas nas frequências relativas dos componentes que estão sujeitos a comportamentos hidráulicos distintos, os fragmentos bioclásticos são mais comumente encontrados nas frações 0,500 mm (1 ϕ) do que na fração 0,250 mm (2 ϕ), como descrito em Pilkey et al. (1967, apud MAHIQUES et al., 1998).

Para a fração 0,500 mm (1 ϕ) registrou-se predomínio de sedimentos terrígenos em todo o canal estuarino com variação do índice B.M entre -0,37 a -1,00 e um percentual de

constituintes terrígenos de aproximadamente 96% (Figura 13). De um modo geral, foram encontrados sedimentos de composição quartzosa (17,68%), principalmente com quartzos liminotizados (35,84%), com presença de algumas micas (7,93%), minerais pesados (7,30%), fragmentos de rochas (14,86%) e em algumas estações apresentando valores altos de fragmentos vegetais (12,52%), e com poucos grãos de origem biogênica marinha (3,86%).

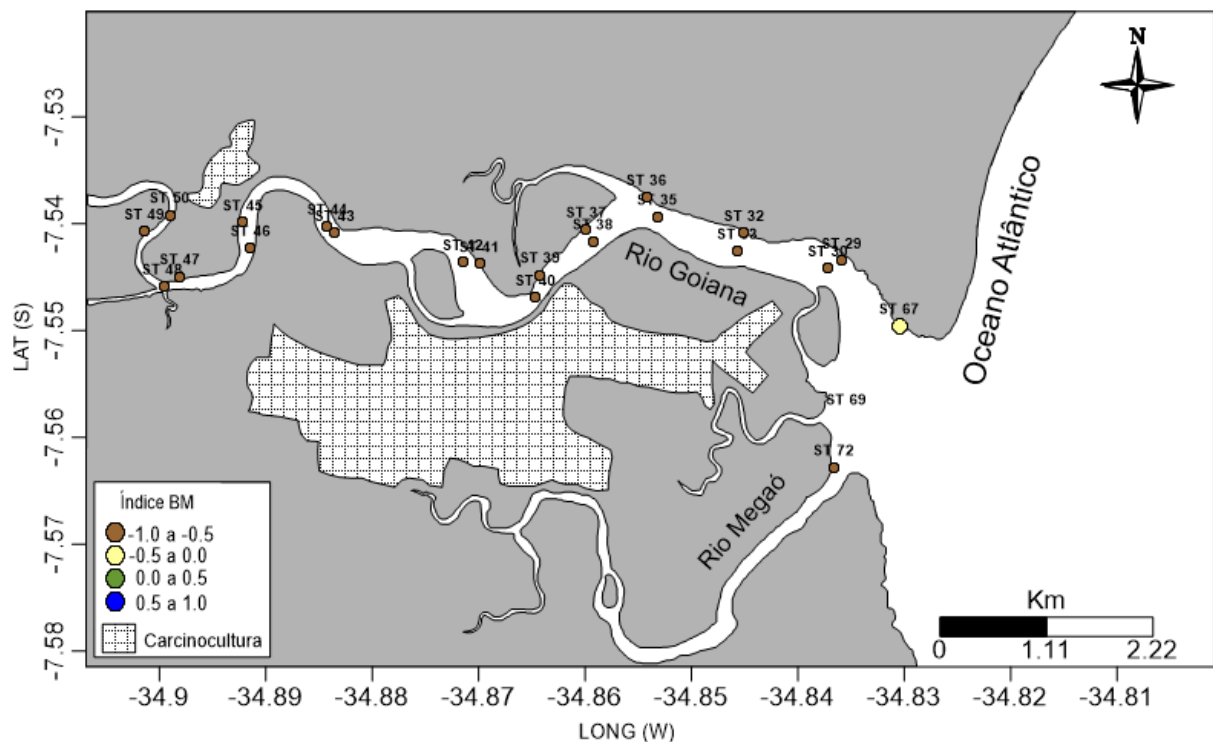


Figura 13. Mapa de distribuição dos sedimentos de acordo com o índice de biogênicos marinhos (B.M) da fração 0,500 mm (1 ϕ) no estuário do rio Goiana.

Ao longo do canal estuarino foram encontrados teores de quartzo liminotizados e quartzo, sendo os teores de quartzo liminotizado elevados com praticamente todas as estações apresentando conteúdos acima de 55%. Diferentemente do que foi registrado para os conteúdos de quartzo no qual foram registrados apenas nas estações 33, 41 e 67 percentuais acima de 50% e para as demais estações demonstraram teores menores que 30%.

Nas estações localizadas nas porções mais internas do estuário foram encontradas maiores contribuições de micas, fragmentos de rocha e restos de fragmentos vegetais, estando relacionadas às proximidades de rochas fontes e a áreas de menor hidrodinâmica. Para o último, duas estações apresentaram conteúdos bastante significativos, as estações 39 e 44, com teores acima de 60% deste material.

Todo o material biogênico distribuído ao longo do sistema se encontra altamente fragmentado e retrabalhado pela ação das ondas e correntes. No entanto, a contribuição de

fragmentos de coral na estação 67, localizada na desembocadura do mesmo, apresentou-se bastante significativa, representando 27% para um total de material biogênico (TBM=31,5%) e refletindo o menor índice B.M (-0,37) registrado ao longo do canal estuarino, sendo estes constituintes de origem marinha (tabela 4).

Para a fração 0,250 mm (2 ϕ), também houve predomínio de sedimentos terrígenos em todo o estuário, bem como registrado na fração 0,500 mm (1 ϕ). Os índices B.M da fração 0,250 mm (2 ϕ) foram similares aos da fração 0,500 mm (1 ϕ), apresentando também um percentual de constituintes terrígenos com aproximadamente 96%. No presente estudo, foi nítida a grande homogeneidade espacial encontrada na distribuição dos grãos nas frações 0,500 mm (1 ϕ) e 0,250 mm (2 ϕ). Os resultados apresentaram valores predominantes do índice B.M próximos a (-1,0) indicando aporte sedimentar essencialmente continental, e com apenas uma estação apresentando variação no índice B.M por volta de (-0,47) indicando influência marinha no processo sedimentar atual (vide Tabela 5). Em estudo realizado por Siqueira (2007) no Canal do Ararapira, sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) também foram registrados constituintes predominantemente de sedimentos terrígenos em todo o canal estuarino para ambas as frações (0,500 e 0,250 mm), marcando percentuais de aproximadamente 83,00% e 98,94%, respectivamente.

Mahiques et al. (1998), em um estudo realizado na região das baías costeiras de Ubatuba (SP), também registraram conteúdos significativos de constituintes terrígenos. A fração mais significativa para estes constituintes estão concentradas na fração 0,250 mm (2 ϕ), com maior predomínio nas regiões mais internas das baías estudadas. Enquanto que para a fração 0,500 mm (1 ϕ), foram registrados mais de 50% de contribuição de constituintes biogênicos marinhos, perfazendo maior parte da área de estudo. Porém, a mesma também demonstrou teores significativos nas porções mais internas das baías.

No presente estudo, a distribuição espacial dos constituintes nesta fração 0,250 mm (2 ϕ) apresenta de modo geral, maiores conteúdos de composição quartzosa, com 29,68% e menores quantidades de quartzos limonizados (34,14%), micas (5,48%), minerais pesados (4,39%), fragmentos de rochas (11,50%), fragmentos vegetais (11,57%) e grãos de origem biogênica marinha (3,25%) quando comparados aos constituintes encontrados na fração 0,500 mm (1 ϕ) (Figura 14).

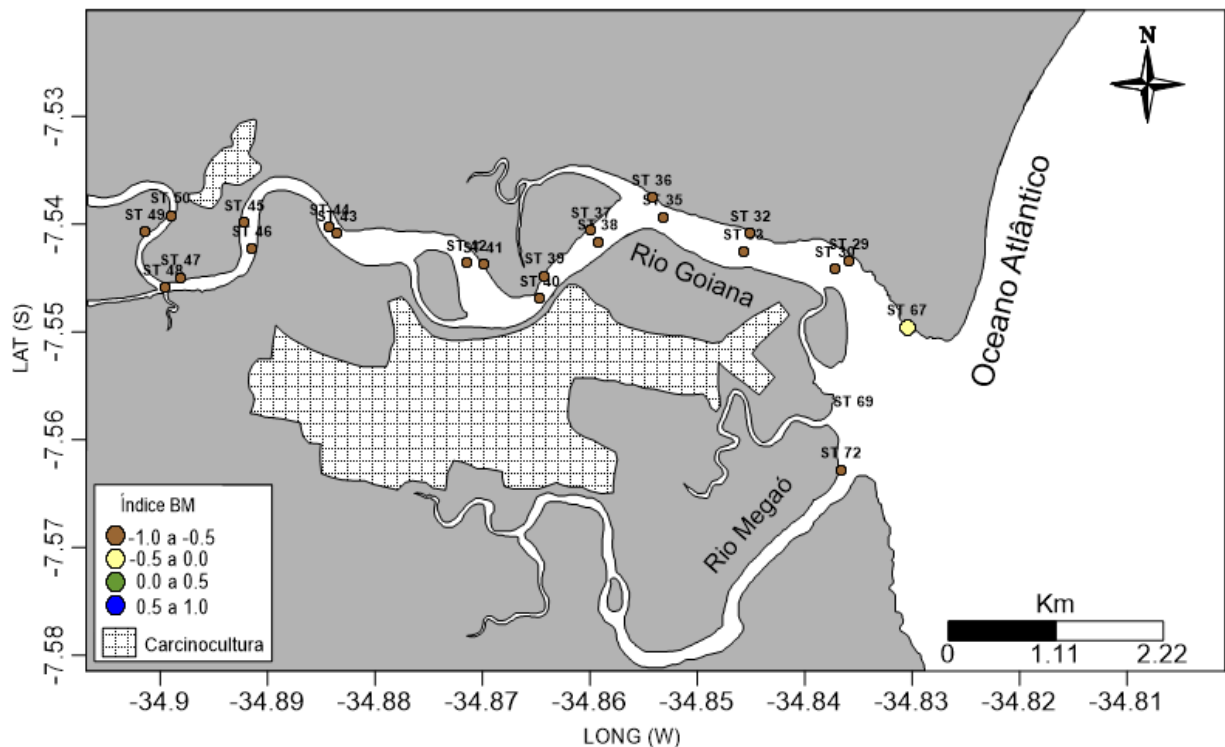


Figura 14. Distribuição dos sedimentos de acordo com o índice de biogênicos marinhos (B.M) da fração 0,250 mm (2 ϕ) no estuário do rio Goiana.

Bem como encontrado para os constituintes da fração 0,500 mm (1 ϕ) as estações localizadas nas porções mais internas do estuário, em áreas adjacentes aos tanques de carcinocultura, também representaram os maiores teores de micas (ST45=38% e ST47=19%), de minerais pesados (ST50=22,5%), de fragmentos de rocha, com teores acima de 35%, e de restos de fragmentos vegetais, com duas estações bastante significativas (ST44=51,5% e ST49=36%). Além disso, também foi refletido o menor valor do índice B.M (-0,47) na estação 67, estando este também associado a uma maior contribuição de fragmentos de coral de origem marinha. Porém, nesta fração a contribuição de fragmentos de coral, para esta estação, perfaz 23,5% de um total de material biogênico (TMB=26,5%) (vide Tabela 5).

5.3 Parâmetros geoquímicos

Os dados coletados durante as etapas de campo e laboratório estão expressos na tabela 6, contendo as coordenadas geográficas e os resultados obtidos para os parâmetros geoquímicos analisados: matéria orgânica total (MOT%), carbonato de cálcio ($\text{CaCO}_3\%$), carbono orgânico total (COT%), nitrogênio total (NT%), razões C/N e dos isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$), das estações sedimentares do sistema estuarino do rio Goiana.

Tabela 6 - Tabela dos parâmetros geoquímicos coletados no estuário do rio Goiana.

Estações	Latitude (S)	Longitude (W)	% MOT	% CaCO ₃	% COT	% NT	C/N	δ ¹³ C	δ ¹⁵ N
ST29	7°32,609'	34°50,152'	6,38	24,50	0,35	0,04	8,87	-23,98	6,47
ST30	7°32,652'	34°50,230'	7,96	18,68	0,90	0,07	12,28	-23,62	6,27
ST32	7°32,454'	34°50,702'	7,81	27,09	1,01	0,09	10,83	-23,39	6,23
ST33	7°32,554'	34°50,741'	1,40	1,74	0,03	0,00	8,49	-24,14	6,08
ST35	7°32,362'	34°51,193'	1,31	2,23	0,02	0,00	7,14	-25,28	8,25
ST36	7°32,253'	34°51,253'	8,24	15,20	0,88	0,07	11,97	-24,44	6,25
ST37	7°32,434'	34°51,592'	6,41	8,18	0,45	0,04	11,34	-24,39	6,59
ST38	7°32,500'	34°51,555'	6,19	6,95	0,92	0,06	14,84	-22,31	7,46
ST39	7°32,689'	34°51,852'	4,73	3,40	0,38	0,03	11,87	-25,24	6,52
ST40	7°32,816'	34°51,878'	4,27	7,17	0,08	0,01	9,90	-26,08	6,16
ST41	7°32,627'	34°52,196'	3,17	4,16	0,12	0,01	12,09	-26,14	6,58
ST42	7°32,617'	34°52,288'	2,63	2,78	0,00	0,00	0,20	-25,45	6,59
ST43	7°32,454'	34°53,010'	2,42	10,71	1,56	0,11	14,12	-23,66	6,66
ST44	7°32,417'	34°53,053'	5,09	14,26	0,03	0,01	5,18	-24,91	6,04
ST45	7°32,395'	34°53,528'	1,66	2,72	0,93	0,05	19,05	-24,23	4,61
ST46	7°32,537'	34°53,486'	3,36	24,84	1,45	0,10	13,84	-23,40	6,87
ST47	7°32,697'	34°53,884'	5,76	21,14	0,03	0,00	6,77	-24,56	7,57
ST48	7°32,753'	34°53,971'	0,72	0,88	2,19	0,15	14,76	-23,94	6,70
ST49	7°32,444'	34°54,084'	5,62	14,50	2,34	0,14	16,27	-24,46	5,81
ST50	7°32,352'	34°53,941'	9,28	19,14	0,04	0,01	6,62	-25,08	5,27
ST67	7°32,976'	34°49,828'	2,31	20,28	0,31	0,04	7,07	-21,24	7,84
ST69	7°33,485'	34°50,126'	4,38	15,06	1,27	0,09	13,56	-23,93	5,93
ST72	7°33,769'	34°50,196'	2,19	6,23	0,38	0,04	10,14	-23,86	5,58

5.3.1 Teores de Carbonato de Cálcio (CaCO₃)

Teores de CaCO₃, normalmente, encontram-se mais associados a sedimentos com maiores teores de material biogênico, oriundos de fontes marinhas. Porém, no presente estudo, os teores de CaCO₃ não apresentaram distribuição regular ao longo do canal estuarino.

Os teores de carbonato de cálcio (CaCO₃) variaram de 0,90 a 27,10% (média de 11,80%). Os maiores teores foram observados nas porções próximas à desembocadura do setor inferior do canal estuarino (ST29=24,50%, ST30=18,68%, ST32=27,09%, ST67=20,28% e ST69=15,06%), contendo também um alto valor na estação 36=15,20%,

situada na porção mais interna do mesmo (Figura 15). A estação que apresentou o maior teor para este parâmetro encontra-se neste setor, a estação 32.

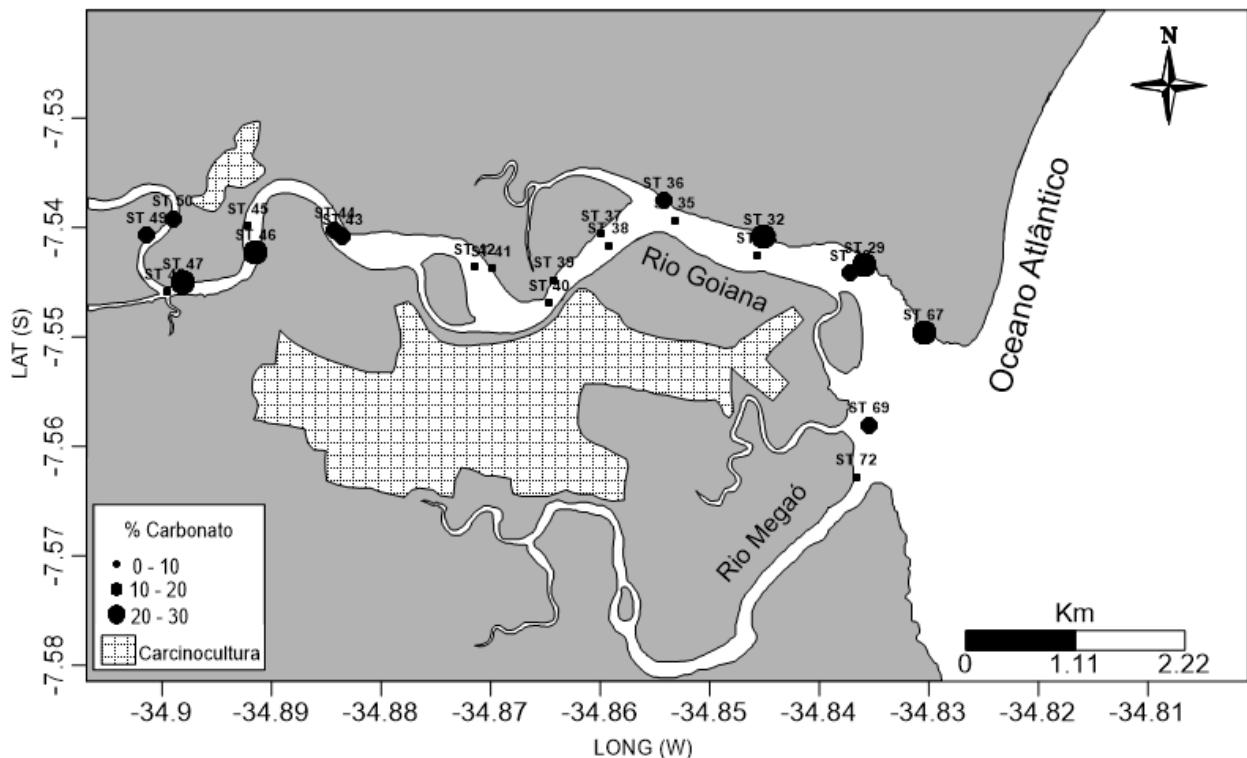


Figura 15. Mapa de distribuição dos teores de carbonato de cálcio (%) dos sedimentos do estuário do rio Goiana.

No setor médio do estuário também foram registrados conteúdos mais altos para o CaCO_3 , principalmente, nas estações adjacentes às áreas de carcinocultura (ST46=24,88%, ST47=21,14% e ST50=19,14%). A estação que apresentou o menor teor de CaCO_3 , foi registrada no setor médio do estuário, localizada mais a montante do segmento fluvial e está associada a fração areia (ST48=0,88%). As estações próximas à área de carcinocultura apresentaram certas anomalias de comportamento para este parâmetro, podendo ser indicativo de um possível aporte externo na área.

De acordo com a análise de correlação de *Spearman* (r_s) os teores de CaCO_3 apresentaram relações positivas significativas, com praticamente todos os tipos de grãos analisados (vide Tabela 3). No entanto, para a fração areia, expressou uma correlação negativa bastante significativa ($r_s=-0,78$; $p>0,05$). Os valores obtidos através da análise da correlação foram: cascalho ($r_s=0,62$; $p<0,05$), silte ($r_s=0,62$; $p<0,05$) e argila ($r_s=0,70$; $p<0,05$). Mostrando assim, que estes, não obedeceram a uma relação direta com a fração granulométrica, podendo ser indicativo de um aporte externo, uma possível fonte disponível na área. Enquanto que os teores mais baixos (concentração menores de 10%) apresentaram-se

associados aos sedimentos arenosos. Segundo a classificação de Larssoneur et al. (1982), a totalidade dos sedimentos foram classificados como siliciclásticos ($\text{CaCO}_3 < 30\%$).

Em estudos realizados por Barcellos (2005) no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP), o autor também encontrou predomínio de sedimentos siliciclásticos em 99,10% das amostras. Bem como, Oliveira (2014) no complexo estuarino Capibaribe-Beberibe-Bacia do Pina com 92,00% de amostras desta classe coletadas no período seco do seu estudo.

Fritzen (2007) apresentou resultados similares ao do estuário do rio Goiana, com teores de CaCO_3 variando de 0,54% a 27,30% e com mesmo comportamento de distribuição ao longo do corpo estuarino-lagunar do rio Itapocu (SC).

Miola (2013) em seu estudo no rio Coreaú (CE) registrou teores de 27,10% (maior percentual constituinte deste parâmetro) tais como registrados para o estuário do rio Goiana. No entanto, os resultados obtidos estabeleceram uma relação direta com a fração granulométrica, diferentemente aos do presente estudo. Além disso, os mesmos foram associados diretamente com uma fonte disponível (acúmulo de fragmentos de conchas e moluscos bivalves), bem como, os teores registrados por Aguiar-Neto et al. (2008) no rio Icapuí (CE).

Os valores encontrados próximos à desembocadura, no setor inferior do estuário, provavelmente estão relacionados ao aporte marinho. Enquanto que, os conteúdos mais altos encontrados no setor médio à montante do canal estuarino podem estar associados ao processo de precipitação do carbonato na forma de carbonato de cálcio, devido à lixiviação oriunda do manejo de viveiros de carcinocultura e lançamento de efluentes próximos à área. Fritzen (2007) afirma que, em viveiros de aquicultura é bastante comum a utilização de calcário dolomítico, nitrato e óxido de cálcio, e cal virgem nos processos de manutenção dos mesmos (calagem e controle de acidez).

5.3.2 Teores de matéria orgânica total (MOT)

Os conteúdos de matéria orgânica total (MOT) variaram de 0,72 a 9,28% (média de 4,60%) e apresentaram correlação positiva com o CaCO_3 ($r_s=0,67$; $p<0,05$) e com as frações mais lamosas: Silte ($r_s=0,75$; $p<0,05$) e argila ($r_s=0,85$; $p<0,05$) (Figura 16). Para as areias a análise de correlação de *Spearman* (r_s) não apresentou significância (vide Tabela 3). Porém, é possível verificar altos teores de conteúdos orgânicos associados a esta fração em algumas estações do estuário, localizadas no setor inferior (ST37=6,41%, ST38=6,19%, ST39=4,73%, ST40=4,27, ST41=3,17% e ST42=2,63).

A amostra com maior teor (ST50=9,28%) localiza-se na porção mais interna do setor médio do canal estuarino.

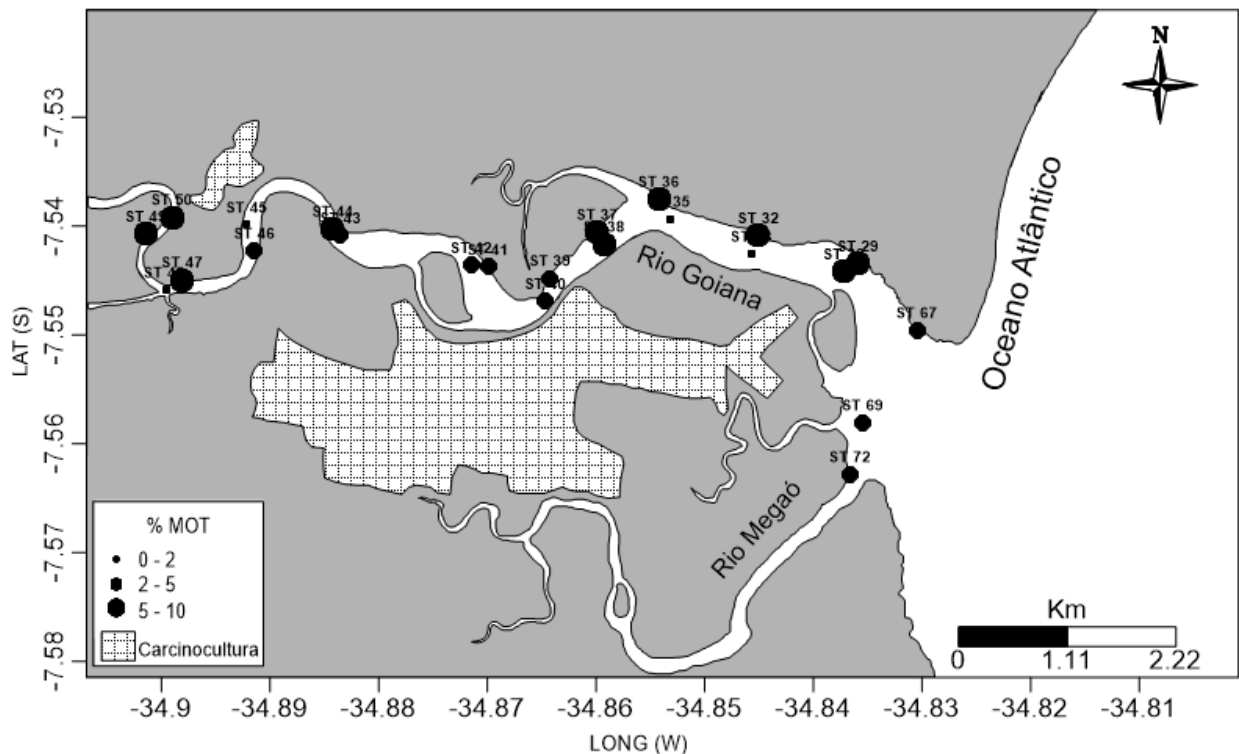


Figura 16. Mapa de distribuição dos teores de matéria orgânica total (%) dos sedimentos do estuário do rio Goiana.

Em estudo realizado por Souza (2013) no rio Megaó (PE), através de análise de testemunhos (T), foram registrados teores similares aos encontrados no estuário do rio Goiana. No testemunho de número dois (T2), os teores orgânicos variaram de 5,30% a 12,60% e para CaCO_3 de 13,40% a 23,90% ($p < 0,05$).

O autor afirma que, o acúmulo destes materiais (em teores mais elevados) no estuário do rio Megaó (PE), pode estar relacionado com uma menor profundidade e pela influência de uma menor hidrodinâmica no mesmo, quando comparada à hidrodinâmica do rio Goiana.

Oliveira & Mattos (2007) atribuem a esses significativos e mais elevados teores de matéria orgânica e CaCO_3 à possíveis fontes externas e/ou influências antrópicas. No ambiente em questão, muito provavelmente, estas alterações estão relacionadas às atividades de ações agrícolas e de carcinocultura que margeiam o sistema estuarino.

Os conteúdos orgânicos, geralmente, comportam-se de maneira relativamente previsíveis em ambientes estuarinos, apresentando variações diretamente proporcionais com parâmetros granulométricos, com a profundidade e com o grau de confinamento do sistema (OLIVEIRA, 2014).

Para os resultados obtidos no sistema estuarino do rio Goiana, pode-se perceber que os grãos arenosos, mesmo não apresentando significância para os testes estatísticos, apresentaram associações com a matéria orgânica. Assim, no presente estudo, considerou-se que os conteúdos orgânicos não obedeceram a uma relação direta com a fração granulométrica, bem como verificado para os teores de CaCO_3 .

Estas anomalias reforçam um indicativo de possíveis fontes externas disponíveis na área. Uma vez que, não foram encontrados altos teores de matéria orgânica, apenas em sedimentos lamosos, e sim, em todos os tipos de sedimentos obtidos, tais como: lamosos, arenosos e areno-argilosos.

Os teores de matéria orgânica são mais baixos que os observados em estudos recentes realizados nos estuários dos rios Capibaribe e Jaboatão, localizados a cerca de 60 km ao sul (BARCELLOS et al., 2015; BARCELLOS et al. (*in press*); OLIVEIRA et al., 2014), que se caracterizam, por serem estuários densamente antropizados da Região Metropolitana do Recife (RMR). Diante deste pressuposto, somado ao fato de que o estuário do rio Goiana praticamente não recebe aporte direto de esgotos domésticos sem tratamento (principal componente da matéria orgânica sedimentar dos estuários da RMR), pode-se inferir que a área de estudo, atualmente, encontra-se menos impactada, apesar da presença das atividades de carcinocultura, indústria cimenteira e agricultura (ALVES et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2014).

5.3.3 Teores de Carbono Orgânico Total (COT)

Os teores de carbono orgânico total (COT) podem ser determinados geoquimicamente, através da verificação de quantidade de matéria orgânica que foi incorporada e preservada nos sedimentos, ou em rochas sedimentares (BORGES, 2012). Vale ressaltar que a determinação de COT é expressa em níveis de percentagens relativas, nos quais esse enriquecimento depende do abastecimento e preservação da matéria orgânica, somado ao abastecimento e preservação de materiais siliciclásticos e biogênicos (TYSON, 1995).

O aporte de carbono orgânico em áreas costeiras geralmente está relacionado com origens naturais (macro-algas bentônicas, biodepósitos e decomposição de plantas vasculares submersas). A variação na concentração de detritos orgânicos nesses sistemas pode apresentar valores de 0,1 a 1 mg.L^{-1} (0,1%) em águas costeiras e 0,5 a 5 mg.L^{-1} (0,5%) em estuários. Nesses últimos podemos encontrar registros de até 125 mg.L^{-1} (12,5%), indicando assim, que o ambiente está sofrendo influências de descarga de esgotos domésticos e efluentes industriais (KENNISH, 1997).

Nos oceanos, parte dos teores de carbono orgânico torna-se resistente a deteriorização microbiana e depositam-se vagarosamente nos fundos, em conjunto com os sedimentos terrígenos (encontrados em suspensão na coluna d'água marinha) e com restos biogênicos (plâncton, nécton e bentos). Esse material, proveniente de várias fontes (cerca de 4 a 12% da produção primária) passa a se acumular e aos poucos vai sendo incorporado ao sedimento marinho, tornando-se parte do registro sedimentar (RASHID, 1985). Os valores de COT em rochas marinhas variam entre 0,1% (depósitos de águas profundas-pelágicas) a 94% (carvão) (TYSON, 1995).

Os teores de carbono orgânico total (COT) variaram de 0,00% a 2,34% (média de 0,70%). Os maiores teores foram encontrados no segmento de fluxo fluvial no setor médio do canal estuarino, como esperado (Figura 17). Visto que, normalmente, teores deste parâmetro encontram-se associados a sedimentos finos e a teores de matéria orgânica. De acordo com Trask (1939 apud TYSON, 1995), os conteúdos orgânicos de sedimentos das margens continentais aumentam quando os grãos constituintes tornam-se mais finos.

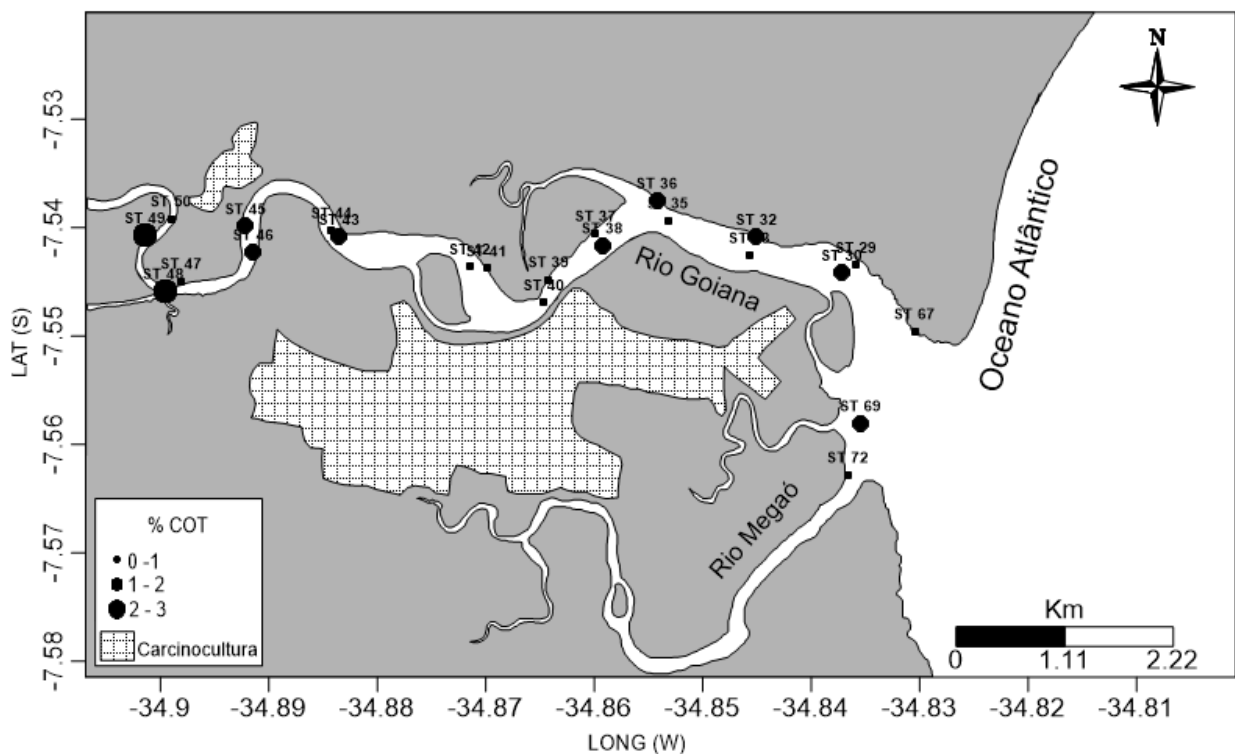


Figura 17. Mapa de distribuição dos conteúdos de carbono orgânico total (%) dos sedimentos do estuário do rio Goiana

Partindo dessa premissa, acreditava-se encontrar os maiores teores associados apenas a sedimentos mais lamosos. No entanto, no presente estudo, foi possível encontrar tais

associações também com grãos mais arenosos, mostrando assim, que este parâmetro não obedeceu a uma relação direta com a fração granulométrica.

Estatisticamente, não houve significância para os parâmetros de COT e MOT ($r_s=0,06$; $p>0,05$) e para as frações granulométricas ($p>0,05$) (vide Tabela 3).

As amostras que apresentaram maiores teores (ST49=2,34% e ST48=2,19%) estão localizadas na porção mais à montante do setor médio, sendo uma representada por sedimentos silticos-argilosos e a outra por sedimentos arenosos, respectivamente. O setor inferior apresentou apenas em duas estações teores mais relevantes (ST32=1,01% e ST69=1,27%), sendo a última localizada na desembocadura do sistema.

Estes valores são considerados baixos, quando comparados aos resultados encontrados por Fritzen (2007) no setor norte do sistema estuarino-lagunar do rio Itapocu (SC), com intervalos entre 0,30% a 9,50%. No entanto, no mesmo trabalho em análises nas estações mais próximas de viveiros (Fazenda Experimental Yakult), especificamente, em estações mais próximas ao canal de drenagem, foram registrados valores similares de carbono orgânico com o presente estudo. O autor associa este baixo índice de carbono orgânico ao possível sequestro deste elemento pelo fitoplâncton para produção primária durante o período de manutenção e drenagem dos tanques, uma vez que os substratos destes viveiros ficam expostos, facilitando a oxidação do material orgânico.

Barcellos (2005) também encontrou baixos teores de carbono orgânico ($< 2,00\%$), na maioria das suas amostras (67,50%), no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP). Os baixos teores encontrados por este autor estavam associados a sedimentos arenosos, enquanto que no presente estudo, tais teores estão distribuídos de maneira irregular ao longo do canal estuarino.

5.3.4 Teores de Nitrogênio Total (NT)

Os teores de nitrogênio total (NT) variaram de 0,00% a 0,15%, com média de 0,05% (Figura 18). Estes teores, de acordo Romankevich (1984) apresentam comportamentos similares aos de conteúdos de carbono orgânico, variando entre 0,00 a 2,19% e à medida que se aproximam de áreas costeiras (principalmente, zonas de ressurgências), tais concentrações se elevam.

Os maiores teores de NT no setor médio do estuário podem estar relacionados com a maior produção primária existente na área, uma vez que a mesma está recebendo um maior aporte fluvial, carreando maiores quantidades de materiais terrígenos oriundos do manguezal.

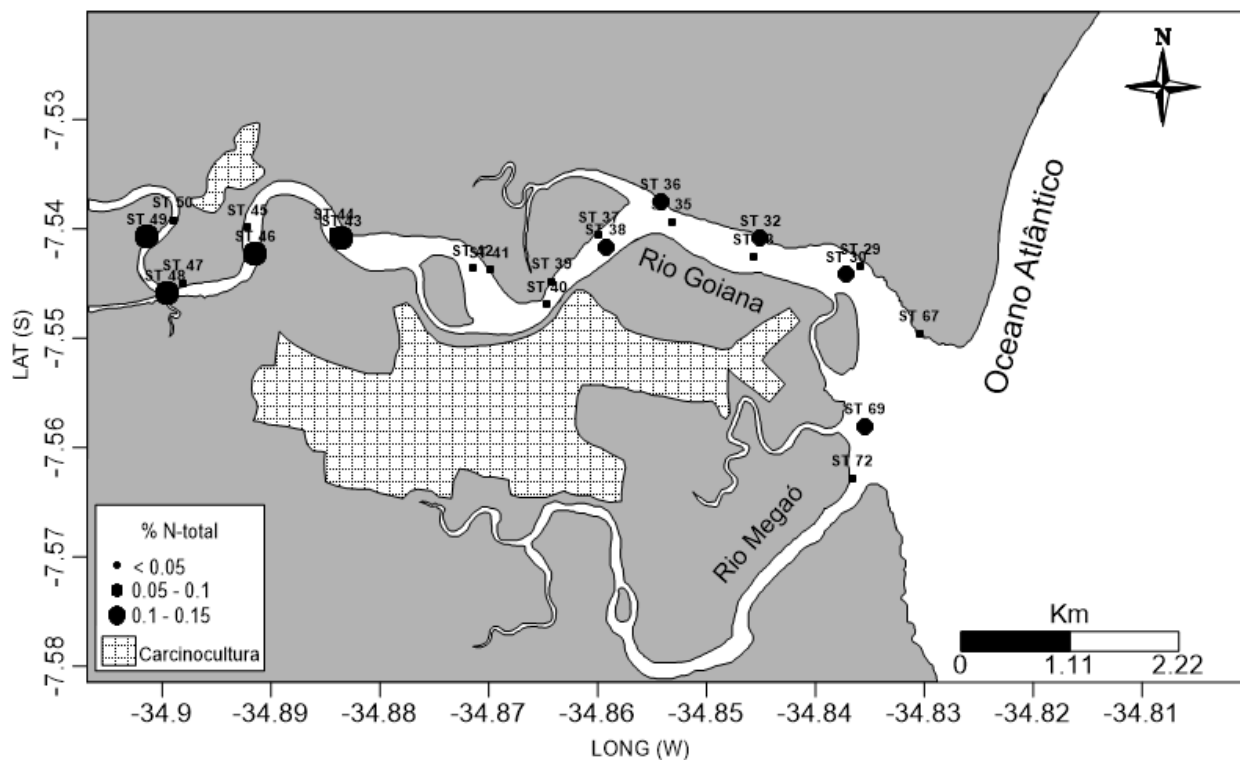


Figura 18. Mapa de distribuição dos conteúdos de nitrogênio total (%) dos sedimentos no estuário do rio Goiana.

A distribuição de NT se assemelhou com a distribuição de COT, refletida pela significativa correlação entre estes dois elementos ($r_s=0,97$; $p<0,05$). Barcellos (2005) encontrou resultados similares em seu estudo, com predominância de conteúdos de NT entre 0,00% e 0,10% e correlação positiva e significativa ($p<0,05$). Oliveira (2014) observou valores mais elevados de NT (0,10% a 0,50%) no complexo estuarino dos rios Capibaribe-Beberibe-Bacia do Pina (PE). Ambos os trabalhos também foram realizados no período seco, mesmo período do presente estudo.

De acordo com a análise de correlação de *Spearman* (r_s) os teores de NT também estabeleceram correlações significativas para os parâmetros C/N ($r_s=0,81$; $p<0,05$) e $\delta^{13}\text{C}$ ($r_s=0,63$; $p<0,05$) (vide Tabela 3).

5.3.5 Razão C/N

A relação C/N é utilizada frequentemente para caracterizar os variados tipos de matéria orgânica existentes nos ambientes aquáticos (REDFIELD et al., 1963). Esta razão pode fornecer informações que permitem indicar a origem do material orgânico, presente nos sedimentos, distinguindo fontes marinhas e terrestres (MEYERS, 1997).

Faganeli et al. (1988) afirmam que a matéria orgânica de origem terrígena pode ser identificada nos sedimentos marinhos através dos altos teores de carbono e baixos conteúdos de proteína ($< 10\%$), resultando assim, em uma elevada razão C/N.

A razão C/N variou entre 0,20 a 19,05 e apresentou valores predominantes entre 6,00 a 10,00 sendo considerados como de origem mista, de acordo com o observado na literatura (BARCELLOS, 2005; MAHIQUES et al., 1999; SAITO et al., 1989) (Figura 19).

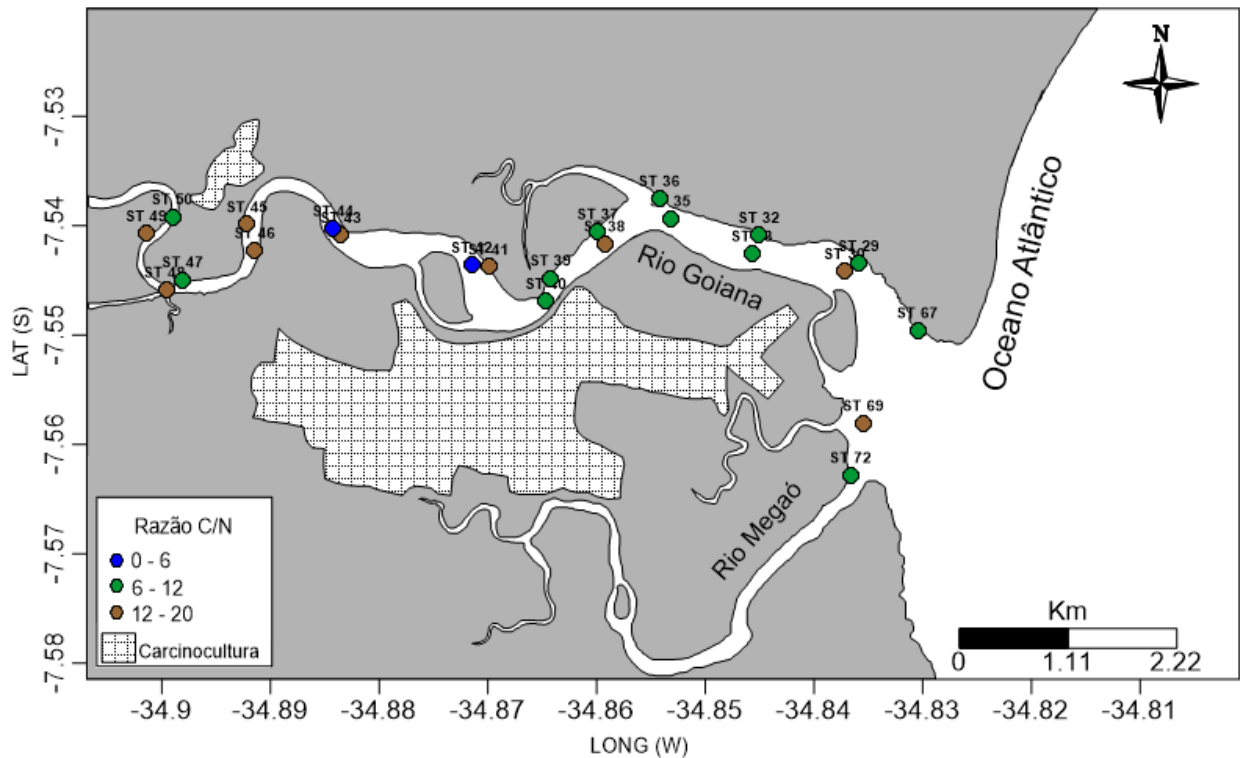


Figura 19. Mapa dos valores da razão C/N dos sedimentos do estuário do rio Goiana.

De acordo com Santos et al. (2015) pode-se afirmar que a partir de fatores como: diferentes aportes de biomassa no solo, diferentes tipos de vegetação nativa e variações nas características da matéria orgânica, os teores de C e N serão afetados e, consequentemente, a razão atômica C/N. É importante salientar, que grande parte da bacia de drenagem do estuário do Goiana, cujas nascentes se encontram no Planalto da Borborema, corta, em sua maioria, rochas cristalinas e cristalofilianas, fontes potenciais de sedimentos terrígenos (BARLETTA; COSTA, 2009).

De acordo com a análise de correlação de *Spearman* (r_s) os dados obtidos para a razão C/N correlacionaram-se positivamente para os parâmetros de COT ($r_s=0,88$; $p<0,05$) e NT ($r_s=0,81$; $p<0,05$) (vide Tabela 3).

As amostras com maiores razões C/N encontram-se nas estações (ST45=19,05 e ST49=16,27) localizadas no segmento fluvial mais à montante do setor médio do canal estuarino.

No setor do médio estuário, houve predomínio de sedimentos com altas razões C/N, sendo estes, influenciados por altos teores de COT, o que indica origem continental para os mesmos e um maior aporte de matéria orgânica, possivelmente derivadas de vegetais superiores nestes locais. No entanto, foram obtidas baixos valores para a razão C/N em duas estações do canal estuarino: estação 44=5,18 no setor médio do estuário e a estação 42=0,20 na porção mais interna do setor inferior do estuário. Valores com razões C/N tão baixas são incomuns de serem encontrados em áreas mais internas de estuários, uma vez que, normalmente, são encontradas em áreas mais próximas à desembocadura, onde sofrem maiores influências do aporte marinho.

Essas estações apresentaram teores menores que a relação de Redfield (6,63) (REDFIELD et al., 1963), o que tornam estes dados críticos e possivelmente associados a impactos ambientais. Ribeiro (2006) observou valores de C/N muito baixos (0,51) no Saco da Mangueira (RS) e 1,28 no Saco do Arraial (RS), sugerindo que o nitrogênio depositado na área, possa ser oriundo de detritos com bactérias aderidas e da descarga de efluentes. No caso do estuário do rio Goiana, esse aporte de efluentes, seria muito provavelmente, derivado das áreas de carcinocultura que margeiam o mesmo.

5.3.6 Razão Isotópica $\delta^{13}\text{C}$

Os conteúdos da razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$ variaram de -26,1 a -21,2‰PDB, indicando amostras de origem continental e marinha, respectivamente.

No setor inferior do estuário, foram encontrados a maioria dos teores de $\delta^{13}\text{C}$ indicativos de material de origem marinha, como esperado (Figura 20). No entanto, também foram registrados conteúdos indicativos deste material no setor médio do estuário, com duas estações bem marcadas (ST43 e ST46). Este comportamento é incomum para áreas mais internas de sistemas estuarinos, onde o maior aporte de material, normalmente, é de origem terrígena. Este comportamento pode ser indicativo de fontes externas adjacentes às margens do manguezal, tais como, as áreas de carcinocultura, próximas a estas estações.

De acordo com a análise de correlação de *Spearman* (r_s) os dados obtidos para a razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$ correlacionaram-se positivamente para os parâmetros de COT ($r_s=0,58$; $p<0,05$) e NT ($r_s=0,63$; $p<0,05$) (vide Tabela 3).

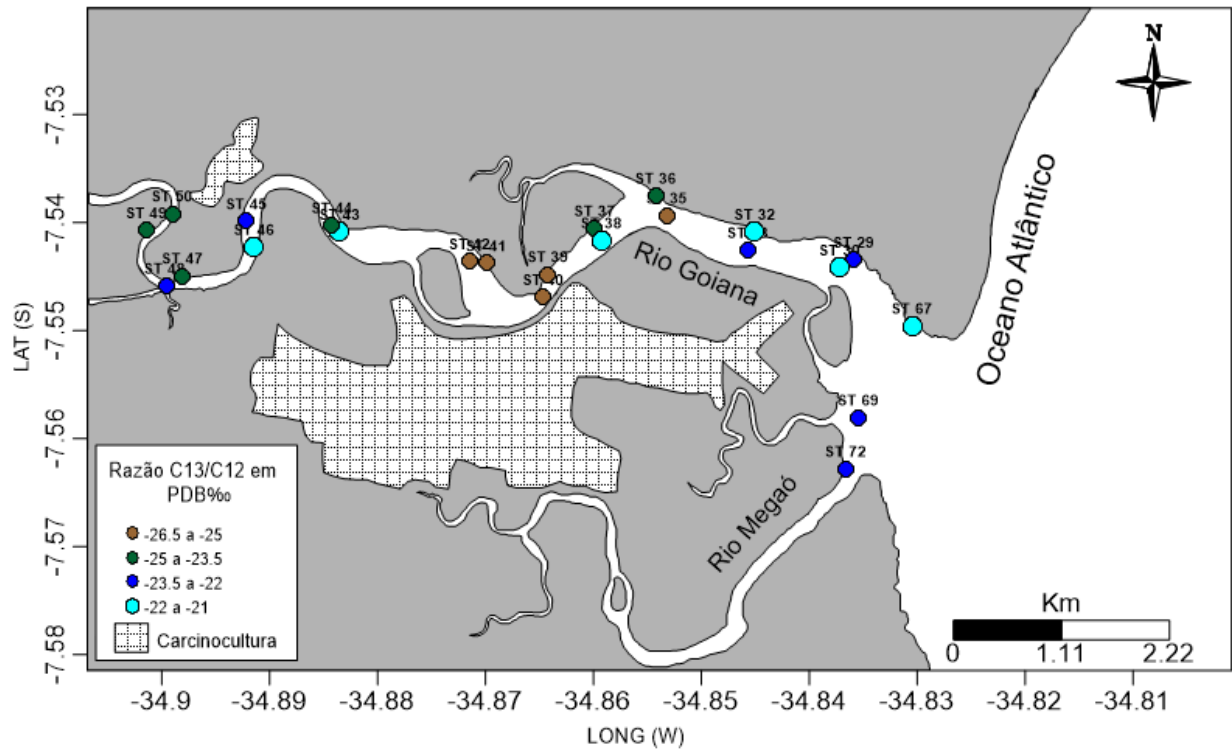


Figura 20. Mapa de distribuição da razão $\delta^{13}\text{C}$ dos sedimentos do estuário do rio Goiana.

Segundo Bouillon et al. (2002) teores de $\delta^{13}\text{C}$ em ambientes transicionais costeiros variam entre -27,0 a -20,0‰PDB, sendo estes indicativos de matéria orgânica de origem continental e marinha, respectivamente. E de acordo com Barcellos (2005) teores de $\delta^{13}\text{C}$ em ambientes estuarinos, normalmente, variam entre -25,0 e -22,0‰PDB.

A partir dos teores de $\delta^{13}\text{C}$ registrados no presente estudo, foram considerados quatro tipos de possíveis fontes de matéria orgânica para o sistema. Matéria orgânica de origem continental (MOC) ($\delta^{13}\text{C}$ -26,5 a -25,0‰PDB), matéria orgânica de origem mista tendendo à continental (MOMC) ($\delta^{13}\text{C}$ -25 a -23,5‰PDB), matéria orgânica de origem mista tendendo à marinha (MOMM) ($\delta^{13}\text{C}$ -23,5 a -22,0‰PDB) e matéria orgânica de origem predominantemente marinha (MOM) (-22,0 a -21,0‰PDB).

Estes resultados assemelham-se aos de Oliveira et al. (2014) para o complexo estuarino dos rios Capibaribe, Beberibe e Bacia do Pina (PE), com conteúdos da razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$ variando entre os intervalos de -26,20 a -21,62‰PDB e para os estudos de Meksumpun & Meksumpun (2002) na baía costeira do Sul da Tailândia (Ban Don Bay), onde o mesmo encontrou teores entre -27,8‰ a -20,5‰PDB. Meksumpun & Meksumpun (2002), registraram um padrão crescente a partir da foz do rio até a área mais externa coletada, diferentemente do comportamento apresentado no estuário do rio Goiana, que não seguiu um padrão regular.

Os resultados obtidos no presente estudo diferem dos conteúdos encontrados por Fritzen (2007) no sistema estuarino-lagunar do rio Itapocu (SC), onde o mesmo encontrou conteúdos menos enriquecidos (-26,5 a -24,9‰PDB) que os apresentados para este estuário.

Em uma escala geral, considera-se quanto às diferentes amplitudes das assinaturas $\delta^{13}\text{C}$ encontradas ao longo do canal, que a vegetação ciliar da área margeada por manguezais e resquícios de Mata Atlântica, mesmo sob a grande influência da carcinocultura e do cultivo de cana-de-açúcar (C_4), ainda não parece estar sendo totalmente afetada. Uma vez que os conteúdos encontrados no presente estudo, correspondem a teores com presença de plantas da floresta original (C_3). No entanto, em uma escala pontual, nas áreas mais próximas das estações adjacentes às áreas de carcinocultura, é nítida uma anomalia no comportamento de distribuição dos parâmetros analisados. No setor médio, foram registrados comumente, dados anômalos para os parâmetros geoquímicos analisados, no presente estudo, tais como: CaCO_3 , C/N e $\delta^{15}\text{N}$.

Os resultados obtidos por Oliveira et al. (2014) e Fritzen (2007) também refletiram isso, bem como, em estudos realizados por Santos et al. (2015) no estuário do rio São Francisco (SE) e Lima (2008), na zona estuarina do Rio Botafogo e parte do Canal Santa Cruz (PE).

5.3.7 Razão isotópica $\delta^{15}\text{N}$

Os conteúdos encontrados para a razão isotópica $\delta^{15}\text{N}$ variaram de 4,6‰Ar a 8,3‰Ar com predomínio de teores entre 6,1‰Ar a 6,6‰Ar distribuídos em todo o sistema (Figura 21). De acordo com os resultados obtidos pelas análises estatísticas, este foi o único parâmetro que não apresentou correlação com nenhum dos outros parâmetros analisados.

Resultados similares foram encontrados nos estudos de Andrade (2012) e Ruiz-Fernández et al. (2002), com conteúdos variáveis entre 4,7‰Ar a 7,8‰Ar para o rio Passa Vaca (BA) e 5,0‰Ar a 7,0‰Ar para o rio Culiacán (México), respectivamente. No entanto, no estudo de Meksumpun & Meksumpun (2002) em Ban Don Bay (Tailândia), os teores apresentados foram menos enriquecidos que os do estuário do rio Goiana, com variações entre 3,8‰Ar a 5,3‰Ar. Neste estudo a distribuição de $\delta^{15}\text{N}$ apresentou um padrão com teores mais altos à medida que se aproximavam da foz do rio.

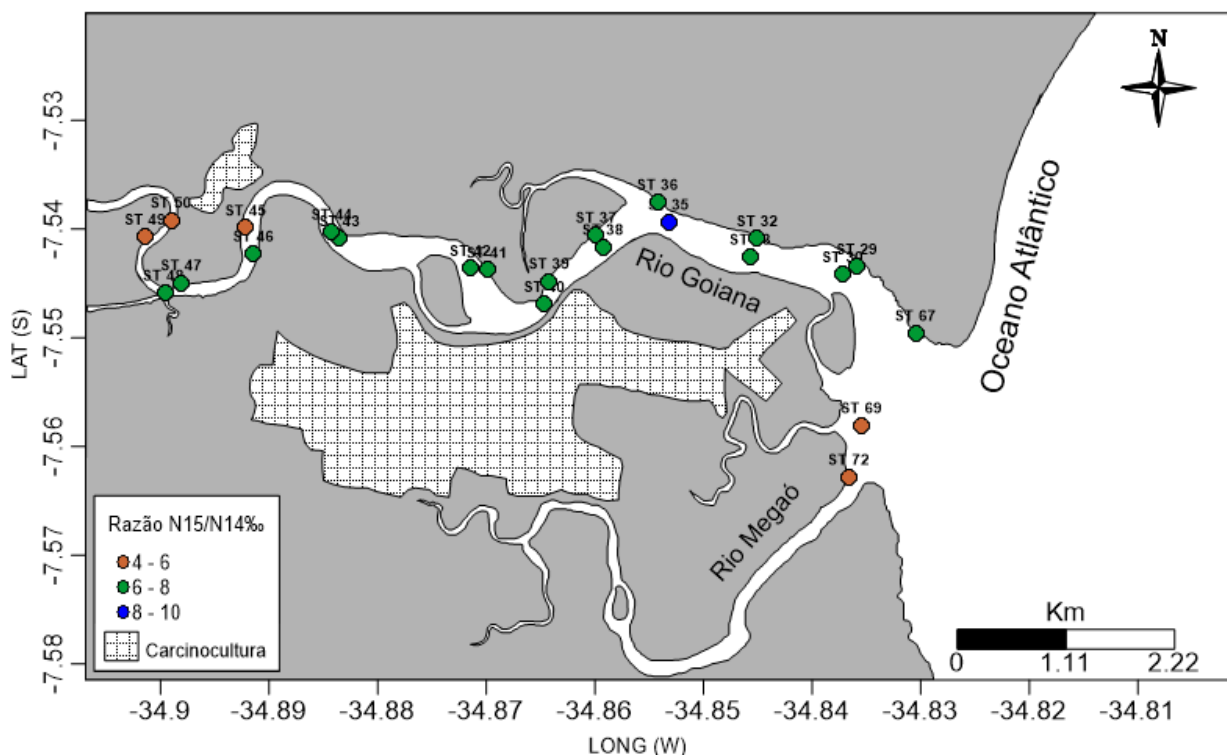


Figura 21. Mapa de distribuição da razão $\delta^{15}\text{N}$ dos sedimentos do estuário do rio Goiana.

Os teores encontrados nos estudos relatados e no presente estudo encontram-se dentro da faixa de solos ricos em compostos nitrogenados (+3 a +8‰) determinados por Aravena et al. (1993). Indicando assim, que os sedimentos encontrados nestas áreas são de origem mista tendendo à marinha e que as mesmas, possivelmente, estão sob influência de lixiviação.

Estes resultados de $\delta^{15}\text{N}$ podem ser interpretados como uma consequência do processo de volatilização da amônia e subsequente processo de nitrificação ou mesmo ser explicado como um resultado da contaminação derivada de esgoto ou produtos agrícolas (RUIZ-FERNÁNDEZ et al., 2002). O fato dos conteúdos de $\delta^{15}\text{N}$ dos materiais de diferentes origens se sobreporem, dificulta a identificação da origem da matéria orgânica através deste parâmetro.

Embora seja difícil distinguir o nitrogênio de origem natural ou antrópica, o presente estudo, apresentou similaridade ao estudo de Barcellos et al. (2005) que encontrou teores de 2,63‰Ar a 6,36‰Ar, indicando fontes de origens naturais. E contrapõem-se aos resultados de Oliveira et al. (2014) no complexo estuarino Capibaribe-Beberibe-Bacia do Pina (PE), com valores de -0,96‰Ar a 6,05‰Ar (predomínio de 2,0‰Ar a 4,0‰Ar) indicando poluição/contaminação por fontes oriundas de esgotos domésticos.

5.3.8 Estado trófico do sistema estuarino

De acordo com o monitoramento realizado nas bacias hidrográficas de Pernambuco no ano de 2012, pela CPRH (CPRH, 2014), o estuário do rio Goiana apresentou um

enriquecimento por nutrientes, com teores que variaram desde condições oligotróficas a hipertróficas, sendo a situação eutrófica a mais frequente.

O presente estudo utilizou o método de aproximação de indicador do estado trófico (*Bio Production Number* - BPN), proposto por Hakanson (1984 apud BUENO, 2012).

Através do índice BPN, foram registrados valores correspondentes à zonas com limites entre estados oligotróficos (34,78%) e hipertróficos (56,52%) (Figura 22) (Tabela 7).

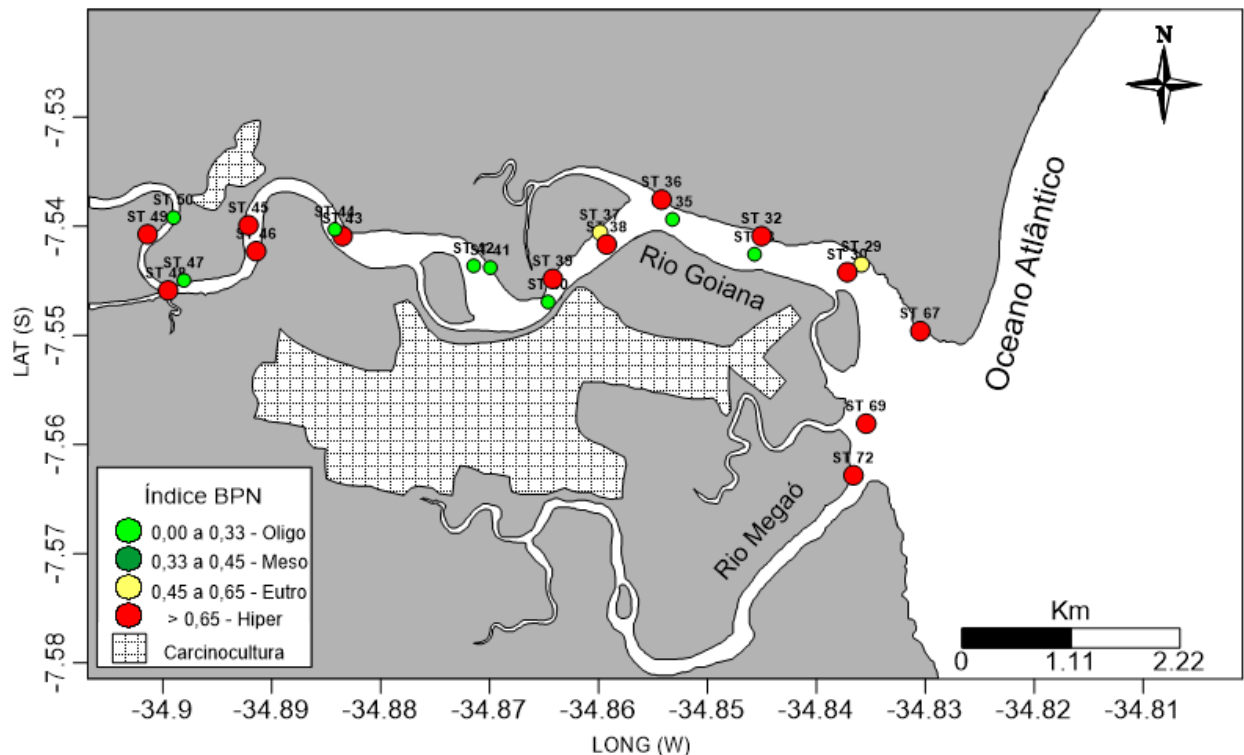


Figura 22. Mapa de classificação do índice BPN dos sedimentos do estuário do rio Goiana. Legenda: Oligotrófico (Oligo), Mesotrófico (Meso), Eutrófico (Eutro) e Hipertrófico (Hiper).

A maioria das estações analisadas expressou estado de hipertrofia para as amostras distribuídas espacialmente no sistema estuarino do rio Goiana. Este comportamento foi registrado tanto no setor inferior quanto no setor médio do estuário.

No estuário do rio Goiana, os maiores índices obtidos para o estado de hipertrofia, foram encontrados no setor médio do estuário (ST43=4,56, ST45=2,95, ST46=3,12, ST48=20,62 e ST49=2,56), adjacentes às áreas de atividades de carcinocultura. Estes dados apontam que este setor é o mais enriquecido por nutrientes, e que esse enriquecimento, pode ser oriundo das práticas de carcinocultura exercidas nas margens do estuário, sugerindo então, um indício de que este setor está sofrendo influências mais severas de aportes externos ao estuário.

Tabela 7 - BPN e estado trófico das estações de coleta do sistema estuarino.

Estações	BPN (MOT <20%)	
29	0,61	Eutrófico
30	0,92	Hipertrófico
32	1,19	Hipertrófico
33	0,27	Oligotrófico
35	0,26	Oligotrófico
36	0,90	Hipertrófico
37	0,62	Eutrófico
38	1,00	Hipertrófico
39	0,68	Hipertrófico
40	0,19	Oligotrófico
41	0,31	Oligotrófico
42	0,12	Oligotrófico
43	4,56	Hipertrófico
44	0,11	Oligotrófico
45	2,95	Hipertrófico
46	3,12	Hipertrófico
47	0,07	Oligotrófico
48	20,62	Hipertrófico
49	2,56	Hipertrófico
50	0,07	Oligotrófico
67	1,89	Hipertrófico
69	2,14	Hipertrófico
72	1,71	Hipertrófico

De acordo com as análises do índice BPN, observa-se mais de 50% das amostras com valores dentro de uma mesma classificação (eutrófico e hipertrófico). No entanto, é importante salientar que, segundo a metodologia de Passavante (2003), para que um ambiente seja classificado, deve-se apresentar dados de estudos prolongados, como: dados anuais e/ou estudos com variações sazonais. Assim, o comportamento deste índice, deve ser considerado apenas para o período de estudo proposto. O que não os tornam menos importantes e/ou menos satisfatórios, uma vez que, são dados que revelam informações e corroboram para o banco de dados existentes nessa área de estudo, quanto aos processos de eutrofização, os quais o estuário do rio Goiana encontra-se submetido. No mais, faz-se necessário um monitoramento mais prolongado para este parâmetro.

5.3.9 Análise de agrupamento (Cluster)

Os resultados da análise de agrupamento para os dados coletados, estão representados na Figura 23. Os parâmetros utilizados na análise foram: MOT, CaCO_3 , COT, NT, cascalho, areia, silte, argila e conteúdos isotópicos.

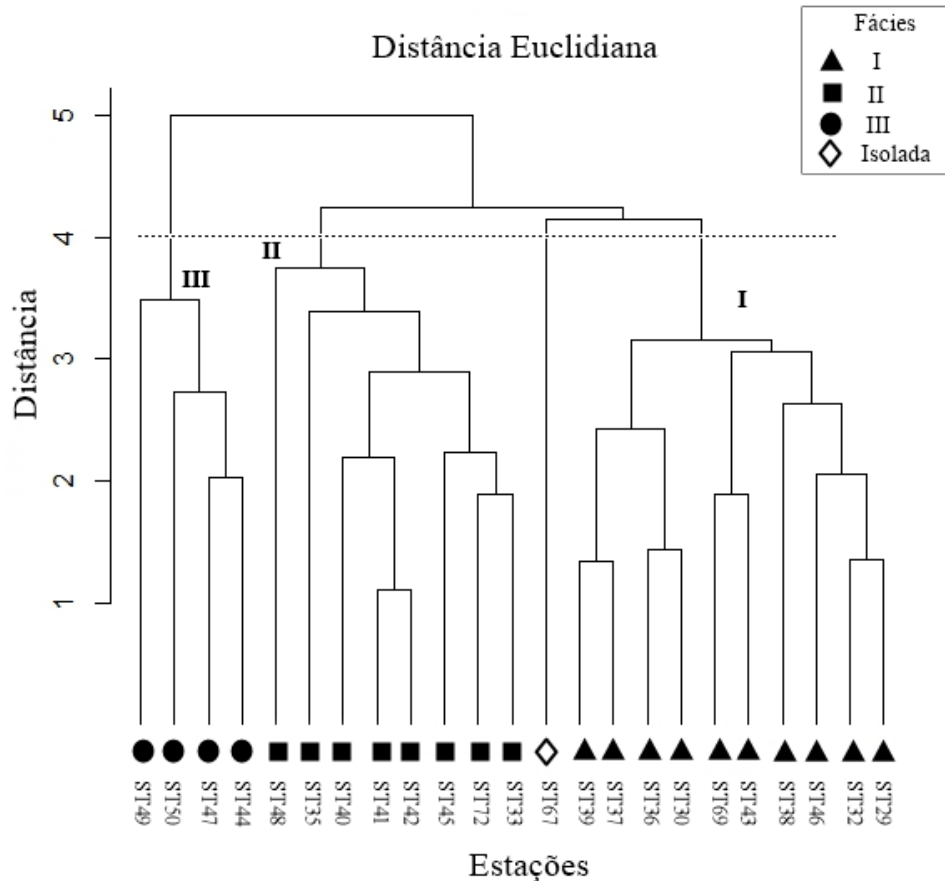


Figura 23. Dendrograma - Análise de agrupamento das amostras do estuário do rio Goiana.

A faciologia relativa de sedimentos para o período de estudo, permitiu o reconhecimento de três classes. A determinação destas classes deu-se a partir de dados obtidos através de um corte transversal na análise de agrupamento (*Cluster*). Suas características particulares estão descritas na tabela 8. Além das três classes consideradas, foi individualizada uma amostra, correspondente à estação (ST67), que não se inseriu em nenhum agrupamento no nível adotado.

Tabela 8 - Características das fácies sedimentares identificadas no sistema estuarino.

	(%) MOT	(%) CaCO ₃	(%) COT	(%) NT	(%) Cascalho	(%) Areia	(%) Silte	(%) Argila	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	
Fácies I	5,79	15,46	0,92	0,07	4,70	79,74	5,88	9,68	-23,84	6,53	média
Fácies II	2,17	3,49	0,47	0,03	0,66	98,38	0,33	0,63	-24,89	6,32	média
Fácies III	6,44	17,26	0,61	0,04	0,18	18,71	47,69	33,42	-24,75	6,17	média

Os agrupamentos apresentados foram diferenciados, principalmente pelos teores de CaCO₃, teores de sedimentos arenosos e sedimentos mais lamosos (silte e argila).

A fácies I é caracterizada por amostras que contém maiores teores de CaCO₃ associados a altos teores de areia, com médias de CaCO₃=15,46% e areia=79,74%, respectivamente.

Essa fácies é predominante nas estações situadas no setor inferior do canal estuarino, com duas estações distribuídas no setor médio do estuário (ST43 e ST46) que compartilham destas similaridades. Esta fácies é marcada por um alto fluxo hidrodinâmico e maior influência marinha, acompanha o fluxo do canal principal do estuário, tal como verificado na batimetria do mesmo (vide Figura 5).

A fácies II é composta por amostras que contém os maiores teores de areia, apresentando médias de 98,38% e baixos teores orgânicos. Esta fácies apresenta as médias mais baixas para os teores de MOT, CaCO₃. As fácies estão distribuídas nas estações (ST45 e ST48), situadas no setor médio do canal estuarino e nas estações (ST33, ST35, ST40, ST41, ST42 e ST72), no setor inferior do estuário, e correspondem aos bancos de areia distribuídos ao longo do sistema estuarino, de acordo com o verificado na batimetria do sistema (vide Figura 5).

A fácies III agrega as amostras com os maiores teores de sedimentos lamosos, com médias de (silte=47,69 e argila=33,42%) e teores orgânicos (MOT=6,44%, média) associados às maiores médias para os sedimentos carbonáticos (17,26%). Esta fácies está distribuída no

setor médio do canal estuarino, recebendo maior aporte e influência de materiais fluviais e de carcinocultura. Além disso, esta fácies é marcada por áreas que apresentam alta produtividade primária, uma vez que, são áreas margeadas por manguezais (Figura 24).

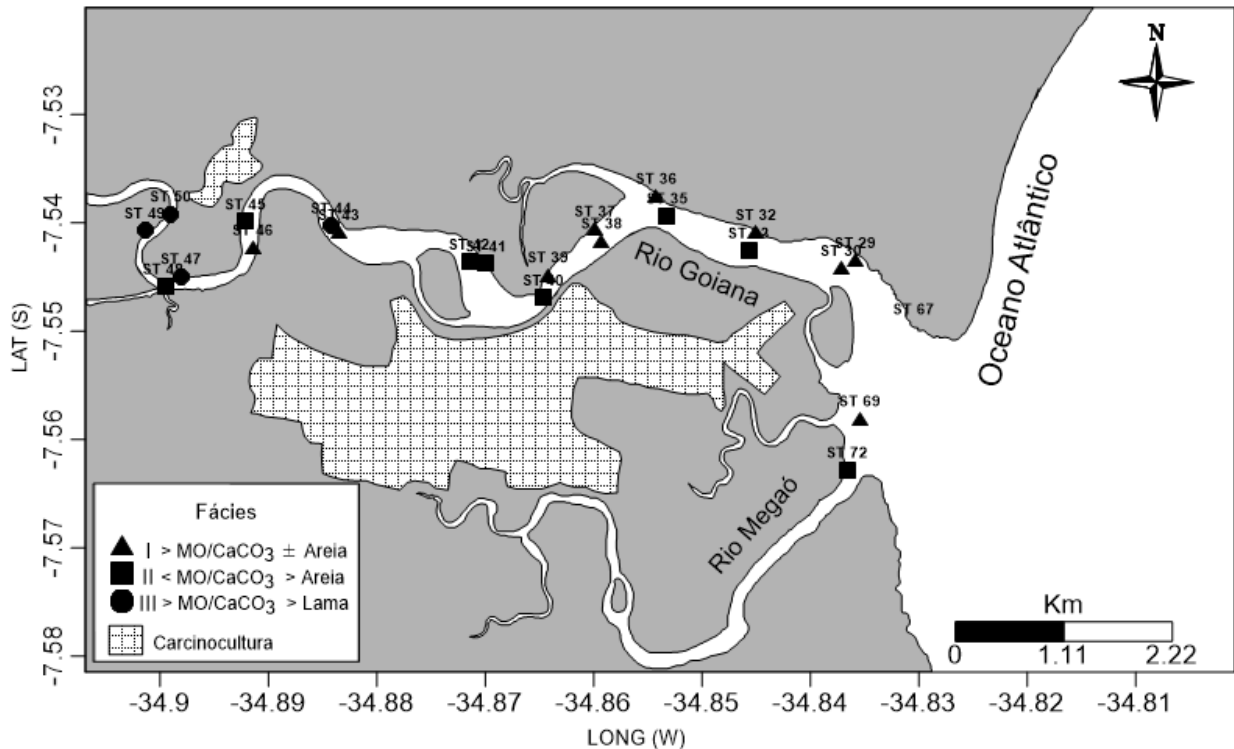


Figura 24. Mapa de fácies sedimentares do estuário do rio Goiana.

A amostra isolada (ST67) diferencia-se das demais pelos seguintes fatores:

- A ST67 apresentou certa semelhança com a fácies I, com presença de altos teores de areia (97,36%) associados a altos teores de sedimentos carbonáticos (20,28%). No entanto, a amostra apresentou os conteúdos mais enriquecidos para os parâmetros $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, com índices (-21,24‰PDB e 7,84‰Ar), respectivamente. Podendo estes serem os fatores determinantes para o isolamento desta amostra (vide Figura 23), devido à sua própria localização e característica mais marinha na sedimentação.

5.3.10 Análise dos componentes principais (ACP)

Os resultados obtidos da análise de componentes principais, mostraram que o conjunto dos principais autovetores detém 72,60% da informação total de variação, onde o componente PC1 apresenta 49,4% e o PC2 23,2% (Figura 25). Para uma melhor resposta nos resultados do ACP, alguns parâmetros foram retirados da análise estatística.

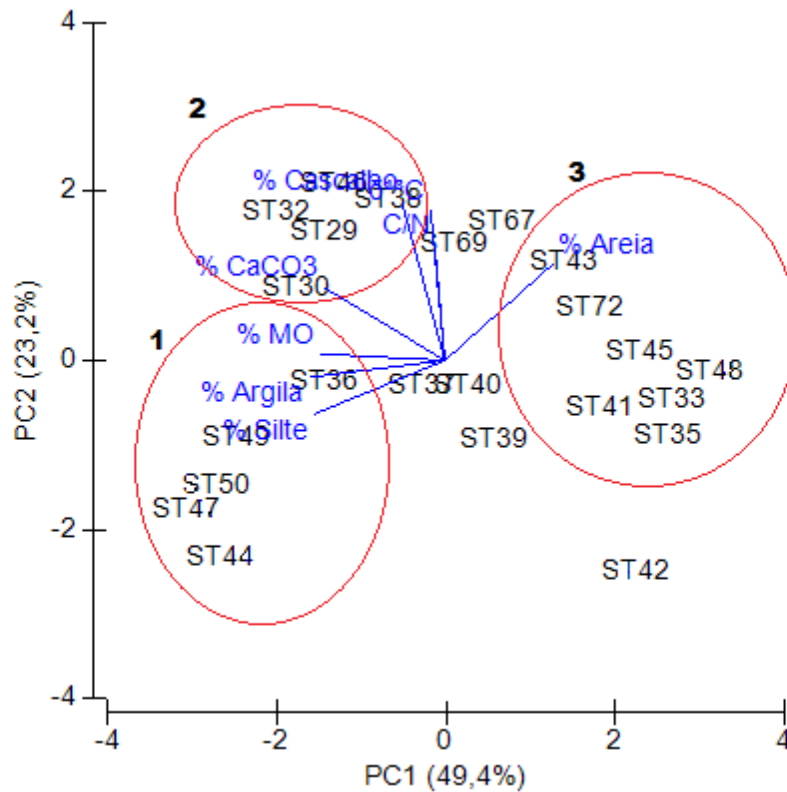


Figura 25. Análise dos Componentes Principais (ACP) dos sedimentos do estuário do rio Goiana.

Os autovetores correspondentes às duas componentes principais estão representados na Tabela 9. A primeira componente (PC1) reflete os teores de sedimentos finos (silte e argila) e a segunda componente (PC2) os teores de sedimentos mais cascalhosos. As estações de coleta que apresentaram características semelhantes foram aglutinadas em três grupos distintos.

Tabela 9 - Autovalores calculados com base nas variáveis utilizadas para análise.

PC	Autovalor	Varição (%)	Varição acumulada (%)
1	3,95	49,4	49,4
2	1,85	23,2	72,5

O grupo 1 reúne as cargas mais negativas do PC1, correspondendo as estações que apresentaram sedimentos finos com maiores teores de orgânicos.

- O grupo 2 é composto de cargas predominantemente positivas, sendo representado pelos altos teores de cascalho e CaCO_3 .

- O grupo 3 contém elementos com cargas positivas e negativas, e este representa as estações com sedimentos arenosos (>95,0%) e com baixos teores orgânicos (Tabela 10).

Tabela 10 - Componentes principais calculadas para as amostras coletadas.

Variável	PC1	PC2
MOT (%)	0,439	0,023
CaCO₃	0,429	0,260
Cascalho	0,153	0,565
Areia	-0,384	0,344
Silte	0,465	-0,190
Argila	0,481	-0,060
C/N	0,036	0,411
δ¹³C	0,051	0,535

As estações (ST36, ST44, ST47, ST49 e ST50) que compõem o grupo 1, estão localizadas no setor médio, com exceção da (ST36) que situa-se no setor inferior do canal estuarino. Neste grupo a estação (ST36) corresponde aos sedimentos que compõem a fácies I, e as demais estações são representados pela fácies III, caracterizadas a partir da análise de agrupamento (*Cluster*) (vide Figura 25).

O grupo 2, apresenta estações localizadas no setor inferior (ST29, ST30, ST32 e ST38) e apenas uma estação correspondente ao setor médio do canal estuarino (ST46), com sedimentos que compõem a fácies I (vide Figura 25). E, o grupo 3 também apresenta a maioria de suas estações situadas no setor inferior (ST33, ST35, ST41 e ST72), com apenas duas estações localizadas no setor médio (ST45 e ST48). Neste grupo, a maioria das estações são composta por sedimentos semelhantes aos representados na fácies II, com exceção da estação (ST43) que correspondem à fácies I, do presente estudo (vide Figura 25).

6 CONCLUSÃO

Levando em consideração os aspectos analisados chega-se à conclusão de que os sedimentos que compõem a região do baixo e médio estuário do rio Goiana são heterogêneos, com predomínio de areias-sílticas, sendo todos classificados como siliciclásticos e pobremente selecionados com teores orgânicos médios e de origem mista.

Foi possível identificar o predomínio dos tipos de sedimentos presentes na área, através da análise complementar da fração arenosa (frações 0,500 e 0,250 mm ϕ). Os sedimentos que perfazem o canal estuarino são, na grande maioria, do tipo terrígeno.

A maior evidência de CaCO_3 se dá no setor médio e na porção mais externa do setor inferior do estuário, próximo à desembocadura, provenientes da lixiviação dos tanques de carcinocultura e dos aportes marinhos nas áreas, respectivamente.

A distribuição de CaCO_3 apresentou uma correlação positiva com os teores de MOT ($r_s=0,67$; $p<0,05$).

As atividades de carcinocultura exercidas nas margens do manguezal do estuário do rio Goiana está contribuindo com o aumentos dos teores de CaCO_3 e MOT, e conseqüentemente, com o aumento de teores de COT nos sedimentos. O COT estabeleceu uma forte correlação com o NT ($r_s=0,97$; $p<0,05$).

Os maiores teores de NT encontram-se no setor médio do estuário, onde muito provavelmente, estão interligados ao maior sequestro deste elemento, pelo fitoplâncton, para a contribuição na realização da produção primária, uma vez que, este setor recebe um maior aporte de materiais carregados pelos rios e *run-off* oriundo do manguezal. Além de estar mais próximo de áreas fontes de materiais oriundos de atividades agrícolas e aquícolas, tais como a cana-de-açúcar e a carcinocultura, respectivamente.

Este estuário também apresenta evidências de introdução de descarga de efluentes refletidas pelos baixos valores da razão C/N em algumas estações de coleta e pelas análises de $\delta^{15}\text{N}$. A razão C/N apresentou uma correlação significativa com o NT ($r_s=0,81$; $p<0,05$).

Na área estudada, de modo geral, ainda assim, foi identificado o predomínio de plantas superiores de floresta Tropical Atlântica (C_3), mostrando que mesmo com a forte presença das atividades antrópicas citadas, o estuário do rio Goiana demonstra poucos impactos relacionados à modificação e substituição das áreas de manguezais (matas ciliares). Porém, de modo pontual, em áreas adjacentes aos tanques de carcinocultura, é nítida a influência oriunda dessas atividades, uma vez que, vários dos parâmetros geoquímicos analisados, responderam de maneira anômala, tais como: CaCO_3 , C/N, $\delta^{13}\text{C}$ e COT. Além de apresentarem os maiores

índices de hipertrofia, obtidos pelo índice BPN nestas áreas. Assim, o presente estudo, considera que em algumas áreas do canal estuarino, principalmente, no setor médio (próximos aos tanques), os impactos ambientais derivados das atividades de carcinocultura já são detectáveis, com base nos parâmetros estudados.

Os valores obtidos para as razões C/N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, indicaram predomínio de fontes mistas. O ACP apontou três grupos que apresentam maiores ligações entre si. No grupo 1, associou os teores de MOT, argila e silte (%); Grupo 2, associou os teores de cascalho e CaCO_3 (%) e o grupo 3, mostrando predomínio de sedimentos arenosos.

Para a análise de agrupamento, foram identificados três tipos de fácies (I, II e III) com características distintas. A fácies I com maiores teores de material orgânico e carbonatos, apresentando variações médias de areias; fácies II com menores teores de matéria orgânica e carbonatos, apresentando altos teores de areias; e a fácies III, com altos teores de matéria orgânica e carbonatos, associados aos maiores teores de lama.

Por meio dos índices de BPN conclui-se que o sistema estuarino encontra-se, em sua maioria, no estado hipertrófico.

Portanto, diante de todos os pressupostos apresentados e analisados, constatou-se que o estuário do rio Goiana, no estado de Pernambuco, está sujeito às ações antrópicas que circundam este hábitat, e que o mesmo vêm apresentando anomalias em sua distribuição espacial do comportamento da matéria orgânica sedimentar. No entanto, conclui-se também que este ambiente encontra-se menos impactado que estuários da Região Metropolitana do Recife, como o complexo Capibaribe-Beberibe-Bacia do Pina e estuário do rio Jaboatão.

A fim de conservar os serviços naturais que os habitats costeiros nos fornecem, sugerem-se maiores fiscalizações acerca de áreas fomentadoras de empreendimentos (agrícolas, agropecuárias e/ou cimenteiras) para que se evitem maiores danos à natureza oriundos de descargas de efluentes sem tratamento no meio natural local.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR NETO, A. B.; GOMES, D. F.; FREIRE, G. S. S. Níveis e origem de cálcio em sedimentos dos manguezais de Icapuí-CE, Nordeste do Brasil. **Revista de Geologia**, Vol. 21, nº 2, p. 135-146. 2008.
- ALVES, T. M. F.; BARCELLOS, R. L.; FLORES MONTES, M. J. Distribuição do carbonato biodetrítico (CaCO_3) e da matéria orgânica total (MOT) nos sedimentos estuarinos do Rio Jaboatão (Pernambuco, Brasil). In: **XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA), Natal, RN, Brasil**. (Publicado em CD-ROM). 2013.
- ANDRADE, C. L. N. et al. Biogeoquímica da matéria orgânica e metais em um manguezal na zona estuarina urbana, Bahia, Brasil. **Revista Geonomos**, 20 (2), 34-43 p. 2012.
- ANGULO, R. J. & de SOUZA, M. C. Revisão conceitual de indicadores costeiros de paleoníveis marinhos quaternários no Brasil. **Quaternary and Environmental Geosciences**, 05 (2):01-32. 2014.
- ARAVENA, R.; EVANS, M. L.; CHERRY, J. A. Stable isotopes of oxygen and nitrogen in source identification of nitrate from septic systems. **Ground water**, v.31, n.2, p. 180-186. 1993.
- ASMUS, M. L. Análise e Usos do Sistema Estuário da Lagoa dos Patos. In: Reunião Especial do SBPC: Ecossistemas Costeiros do Conhecimento à Gestão (3). Florianópolis. **Anais...** Florianópolis. p. 105-108. 1996.
- ASSIS, H. M. B. **Influência da hidrodinâmica das ondas no zoneamento litorâneo e na faixa costeira emersa, entre Olinda e Porto de Galinhas, Pernambuco**. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Pernambuco, 131 p. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO (ABCC). Código de conduta e de boas práticas de manejo e de fabricação para uma carcinicultura ambientalmente sustentável e socialmente justa. Ed. 1, 86 p. 2005.
- BARCELLOS, R. L. & FURTADO, V. V. Processo sedimentar atual e a distribuição de carbono e nitrogênio orgânicos no Canal de São Sebastião (SP) e plataforma continental interna adjacente. **Revista Brasileira de Oceanografia**, 47(2):207-221. 1999.
- BARCELLOS, R. L. **Distribuição da material orgânica sedimentar atual do sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, São Paulo**. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, São Paulo, 185 p. 2005.
- BARCELLOS, R. L. et al. Distribuição e características do fósforo sedimentar no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, 19 (1):022-036. 2005.
- BARCELLOS, R. L. & FURTADO, V.V. Organic Matter Contents and Modern Sedimentation at São Sebastião Channel, São Paulo State, South-Eastern Brazil. **Journal of Coastal Research**. v. SI: 39: 1073-1077. 2006.
- BARCELLOS, R. L.; LINS, S. R.; COELHO-JUNIOR, C. Oceanic Island Beaches Sedimentary, Morphological, Geochemical Seasonal Variations. The case of Fernando de Noronha Island, Pernambuco State - Brazil. 2015. In: Coastal Sediments 2015, San Diego, Califórnia (EUA). Cd rom do Coastal Sediments 2015.

- BARCELLOS, R. L.; MONTES, M. J. F.; ALVES, T. M. F.; CAMARGO, P. B. *In Press*. Modern sedimentary processes and seasonal variations of organic matter in an urban tropical estuary, Jaboatão River, Pernambuco, Brazil. **Journal Of Coastal Research**, Ed. 75. 2015.
- BARLETTA, M. & COSTA, M. F. Living and non-living resources exploitation in tropical semi-arid estuary. **Journal of Coastal Research**, SI 56: 371-375. 2009.
- BARROS, L. C. Estudos sedimentológicos na plataforma continental interna adjacente às desembocaduras sul do Canal de Santa Cruz e do Rio Timbó, norte do Estado de Pernambuco. **Revista de Geologia**, Vol. 21, nº 2, 123-134. 2008.
- BERBEL, G. B. B. **Estudo do fósforo sedimentar e de suas especiações químicas em dois sistemas costeiros e Plataforma Continental Sudeste (Brasil) e Baía do Almirantado (região antártica) considerando suas relações geoquímicas**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 102 p. 2008.
- BORBA, A. L. S. **Estudos sedimentológicos, morfodinâmicos e da vulnerabilidade das praias da Piedade, Candeias e Barra das Jangadas - Município do Jaboatão dos Guararapes-PE**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, 130 p. 1999.
- BORDOVISKIY, O. K. Accumulation and transformation of organic substances in marine sediments. **Marine Geology**, 3:3-144. 1965.
- BORGES, M. E. N. **Palinoestratigrafia e isótopos estáveis do Jurássico da Bacia Algarvia e da Carrapateira**. Tese de Doutorado, Universidade do Algarve, Portugal. Vol. I, 298 p. 2012.
- BOUILLON, S. et al. Carbon and nitrogen stable isotope ratios of subtidal benthic invertebrates in an estuarine mangrove ecosystem (Andhra Pradesh, India). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 54, n. 5, p. 901-913, 2002.
- BOUTTON, T. W. Stable Carbon Isotope Ratio of natural materials: sample preparation and mass spectrometric analyses. D. C. Coleman & B. Fry (Eds.), **Carbon Isotope techniques**. New York, **Academic Press Inc.**, p. 173-185. 1991.
- BUENO, C. **Uma aproximación a la caracterización del estado trófico de la zona costera metropolitana mediante el análisis de variables bio-geoquímicas del sedimento superficial**. Tesina (Grado). Facultad de Ciencias, Montevideo, 33 p. 2012.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. 2006.
- CARVER R. E. Settling analysis. **Procedures in sedimentary petrology**. New York: Wiley-Interscience. p. 427-452. 1971.
- CHANG, C. C. Y.; McCORMICK, P. V.; NEWMAN, S. ELLIOTT, E. M. Isotopic indications of environmental changes in a subtropical wetland. **Ecological Indicators**, vol.9, p. 825-836. 2009.
- CLARK, J. R. **Coastal Zone Management Handbook**. Lewis Publishers, Boca Raton. 694 p. 1996.
- CPRH. Monitoramento da qualidade da água das bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco, 1996, Ger. Recursos Hídricos, CPRH. **Relatório anual**, Recife, Pe. 1997.
- CPRH. Diagnóstico Socioambiental do Litoral Norte de Pernambuco. Recife, 214 p. 2003.

- CPRH. **Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2012**. Recife. 104 p. 2014.
- CPRM. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Goiana**, Pernambuco. 2005.
- CUNHA, E. M. S. - Considerações gerais sobre a zona costeira. Capítulo 3, 29 p. 2005. Disponível em: http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1432/3.CONSIDER_GERAIS_ZONA_COSTER_A.pdf?sequence=4.
- DAY, JR. J. W.; HALL, C. A. S.; KEMP, W. M. & YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: **Estuarine Ecology**. Day Jr., J. W. Hall, C. S. A., Kemp, W. M. & Yáñez-Arancibia, A. (ed.) Chapter 2 John Willey & Sons, Inc., p. 47-75. 1989.
- EDITE MANUELA da G. P. FERNANDES. **Estatística aplicada**. Braga: American Mathematical Society. 313 p. 1999.
- ELLIOTT, E. M. & BRUSH, G. S. Sedimented organic nitrogen isotopes in fresh water wetlands record long-term changes in watershed nitrogen source and land use. **Environmental Science & Technology**, vol. 40, p. 2910-2916. 2006.
- EMERSON, A. & HEDGES, I. L. Processes controlling the carbon content of open ocean sediments. **Paleoceanography**, 3, p. 621-634. 1988.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Interciência. 1998.
- FACEPE, **Relatório final do Projeto: Hidrografia do Estuário do Rio Goiana - Pernambuco**, Recife, 93 p. 2013.
- FADIGAS, A. B. M.; GARCIA, L. G. Uma análise do processo participativo para a conservação do ambiente na criação da Reserva Extrativista Acaú-Goiana. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 22 (3): 561-576. 2010.
- FAGANELI, J.; MALEJ, A.; PEZDIC, J. & MALACIC, V. C: N: P Ratios and Stable C Isotopic Ratios as Indicator of Sources of Organic Matter in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic). **Oceanologia Acta**, 11, 377-382. 1988.
- FIDEM, Região Metropolitana do Recife. Recife, Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Planejamento do Estado de Pernambuco, Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife, 108 p. 1987.
- FOLK, R. L. & W. C. WARD. Brazos River Bar: Study of the Significance of Grain Size Parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27: 3-27. 1957.
- FRITZEN, L. B. **Composição, origem e grau de enriquecimento do material orgânico sedimentar no setor norte do sistema estuarino-lagunar do rio Itapocu, SC**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 99 p. 2007.
- GARLIPP, A. B. Variabilidade histórica de elementos maiores e traços em sedimentos estuarinos sob influência da carcinicultura: O sistema estuarino Goiana-Megaó, Pernambuco, Brasil. **Estudos Geológicos**. v. 20 (2): 03-18 p. 2010.
- GAZEAU, F.; SMITH, S. V.; GENTILI, B.; FRANKIGNOULLE, M.; GATTUSO, J.-P. The European coastal zone: characterization and first assessment of ecosystem metabolism. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 60 (4): 673-694. 2004.

- GEBHARDT, A. et al. The turbidity maximum zone of the Yenisei River (Siberia) and its impact on organic and inorganic proxies. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v.65, p. 61-73. 2005.
- GOIANA. Prefeitura Municipal de Goiana, Pernambuco. 2014. <<http://goiana.pe.gov.br/conheca-a-cidade/>> Acesso: 11/08/2015.
- HEDGES, J. I. & STERN, J. H. Carbon and nitrogen determination in carbonate-containing solids. **Limnology and Oceanography**. 29, 45-57. 1984.
- HUBERT, J. F. Analysis of Heavy-mineral Assemblages. In: CARVER, R. E. (ed.). *Procedures in Sedimentary Petrology*. New York, **Wiley-Interscience**. p. 453-478. 1971.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades @**: 2010. <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=260620&search=pernambuco|goiana>> Acesso: 24/10/2014.
- KENNISH, M. J. **Estuarine and Marine Pollution, Practical Handbook**. CRC Press, 524 p. 1997.
- KILMINSTER, K. L. Sediment quality in three south-western Australian estuaries. Water Science technical series. Report n°18. **Department of Water**. Western Australia. p 01-52. 2010.
- LAMB, A L.; GRAHAM, P.W. & LENG, M.J. A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios in organic matter. **Earth-Science Reviews**: 75: 29-57. 2006.
- LARSSONEUR, C.; BOUYASSE, P. & AUTTET, J. P. The superficial sediments of the English Channel and its western approaches. **Sedimentology**, 29(6): 851-864. 1982.
- LIMA, E. A. M. **Avaliação da qualidade dos sedimentos e prognóstico geoquímico ambiental da zona estuarina do Rio Botafogo, Pernambuco**. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 155 p. 2008.
- LIMA, A. R. A. **Variação sazonal, espacial e lunar do ictioplâncton e do microplástico nos diferentes habitats do estuário do Rio Goiana (Resex Acaú-Goiana PE/PB)**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, 145 p. 2015.
- LORENTE, F. L. et al. Palynofacies and stable C and N isotopes of Holocene sediments from Lake Macuco (Linhares, Espírito Santo, southeastern Brazil): Depositional settings and palaeoenvironmental evolution. **Palaeogeography**, vol. 415, 69–82 p. 2014.
- MAHIQUES, M. M. de. **Considerações sobre os Sedimentos de Superfície de Fundo da Baía da Ilha Grande, Estado do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico - USP, São Paulo, 139 p. 1987.
- MAHIQUES, M. M. de; M. G. TESSLER; V. V. FURTADO. Characterization of Energy Gradient in Enclosed Bays of Ubatuba Region, South-Eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47, 431-446. **Academic Press**. 1998.
- MAHIQUES, M. M. de; MISHIMA Y. & RODRIGUES M. Characteristics of the Sedimentary Organic Matter on the Inner and Middle Continental Shelf between Guanabara Bay and São Francisco do Sul, Southesatern Brazilian Margin. **Continental Shelf Research**, v. 19, p. 775-798. 1999.
- MANSO, V. A. V. et al. Estudo da erosão marinha na praia da Boa Viagem. Convênio EMLURB/FADE/LGGM/UFPE: **Relatório técnico**. Recife. 106 p. 1995.

- MANSO, V. A. V., COUTINHO, P. N., GUERRA, N. C., SOARES Jr, C. F. A. In: Pernambuco. Muehe D. (ed.) **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Ministério do Meio Ambiente Brasília, 179-196 p. 2006.
- MARINS, R. V.; PAULA FILHO, F. J.; ROCHA, C. A. S. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do rio Jaguaribe - Costa Nordeste Oriental Brasileira. **Química Nova**, Vol. 30, No. 5, 1208-1214. 2007.
- MARQUES, J. C.; MARANHÃO, P. & PARDAL, M. A. Human impact assessment on the subtidal macrobenthic community structure in the Mondego estuary (Western Portugal). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 37: 403-419. 1993.
- McCALLISTER, S. L.; BAUER, J. E.; DUCKLOW, H. W.; CANUEL, E. A. Sources of estuarine dissolved and particulate organic matter: A multi-tracer approach. **Organic Geochemistry**, v.37, p. 454-468. 2006.
- McDOWELL, D. M. & O'CONNOR, B. A.. Hydraulic behavior of estuaries. The Macmillan Press Ltd., **London**, 297 p. 1977.
- MEKSUMPUN, S. & MEKSUMPUN, C. Stable Carbon and Nitrogen Isotope Ratios of Sediment in Ban Don Bay: Evidence for Understanding Sources of Organic Matters in the Coastal Environment. **Kasetsart Journal (National Science)**, 36 : 75 – 82. 2002.
- MEYERS, P. A. Organic Geochemical Proxies of Paleoceanography, Paleolimnologic and Paleoclimatic Processes. **Organic Geochemistry** 27, 213-250. 1997.
- MIOLA, B. **Caracterização geoquímica e mineralógica dos sedimentos do manguezal do estuário do Rio Coreaú, Ceará, Brasil**. Dissertação de mestrado. Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, 102 p. 2013.
- NAYLOR, R. L. et al. Effect of aquaculture on world fish supplies, **Nature** 405, 1017-1024. 2000.
- NASCIMENTO-FILHO, G. A. Uso de índices ambientais como ferramentas de avaliação do estado trófico (qualitativo e quantitativo) de estuários no estado de Pernambuco. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 42, n. 1, p. 113-117. 2014.
- OLIVEIRA, G. D.; MATTOS, K. M. C. Impactos ambientais provocados pela indústria de camarão no município de Nísia Floresta (RN). **Revista Ibero Americana de Estratégia**, 6 (2):183-188. 2007.
- OLIVEIRA, T. S. **Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica no sistema estuarino dos rios Capibaribe, Beberibe e Bacia do Pina, Recife-Pe**. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco – PE, 112 p. 2014.
- OLIVEIRA, T. S. et al. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, 14 (3):399-411. 2014.
- PAROPKARI, A. L.; IYER, S. D.; CHAUHAN, O. S. & BABU, C. P. Depositional environments inferred from variations of calcium carbonate, organic carbon, and sulfide sulphur: a core from southeastern Arabian Sea. **Geo-Marine Letters**, 11:96-102. 1991.
- PASSAVANTE, J. Z. O. Produção fitoplancônica do estuário do Rio Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil). In: **X Congresso Nordestino de Ecologia**, p. 01-02. 2003.

- PELLEGRINI, J. B. R. **Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do Arroio Lino – Agudo – RS**. Dissertação. 85 p. (Mestrado em Ciências do Solo) Universidade Federal de Santa Maria – RS. Santa Maria. 2005.
- PEREIRA, A. L. Isótopos estáveis em estudos ecológicos: métodos, aplicações e perspectivas. **Revista Biociências**, Taubaté, v.13, n.1-2, p. 16-27. 2007.
- PETERSON, B. J. & HOWARTH, R. W. Sulfur, carbon, and nitrogen isotopes used to trace organic matter flow in the salt-marsh estuaries of Sapelo Island, Georgia. **Limnology and Oceanography**, 32 (6), 1195–1213 p. 1987.
- PETTIJOHN, F. J. *Sedimentary Rocks* Harper & Row, 3, ed., New York, NY, U.S.A. ISBN: 0060451912, 628 p. 1975.
- RASHID, M. A. Physico-chemical Characteristics of Marine Humic Compounds. In: **Geochemistry of Marine Humic Compounds**. Springer New York, p. 66-107. 1985.
- RAYMOND, P. A.; BAUER, J. E. Use of ^{14}C and ^{13}C natural abundances for evaluating riverine, estuarine, and coastal DOC and POC sources and cycling: a review and synthesis. **Organic Geochemistry** 32, 469 – 485. 2001.
- REDFIELD, A. C., KETCHUM, B. H., RICHARD, F. A.. The influence of organisms on the composition of sea-water. Hill, N. (Ed.), **The Sea**. Interscience, New York, p. 26-77. 1963.
- REGAZZI, A. J. Análise multivariada, notas de aula INF 766, Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v.2. 2000.
- RIBEIRO, A. R. L. **Distribuição de carbono e nitrogênio orgânicos particulados em duas enseadas do estuário da Lagoa dos Patos – RS**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, 81 p. 2006.
- ROMANKEVICH, E. A. *Geochemistry of Organic Matter in the Ocean*. New York, Springer-Verlag, 334 p. 1984.
- ROMESBURG, C. H. *Cluster Analysis for Researchers*. Lifetime Learning Publications. Belmont, California, 333 p. 1984.
- RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C. et al. Recent sedimentary history of anthropogenic impacts on the Culiacan River Estuary, NW Mexico: geochemical evidence from organic matter and nutrients. **Environmental Pollution**, 118 (3):365-377. 2002.
- SAHU, B. K. Depositional mechanisms from the analysis of clastic sediments. **Journal of Sedimentary Research**, 73-83. 1964.
- SAITO, Y.; NISHIMURA, A. & MATSUMOTO, E. Transgressive sand sheet covering the shelf and upper slope off Sendai, Northeast Japan. **Marine Geology**, 89(3/4), p. 245-258. 1989.
- SANTOS, J. M. et al. Caracterização Geoquímica Orgânica e Inorgânica de Sedimentos de Manguezais do Estuário São Francisco, Sergipe. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 2139-2153, 2015.
- SHEPARD, F. P. Nomenclature base Don sand-silt-clays rations. **Journal of Sedimentary Petrology**. 24(3):151-158. 1954.
- SHEPARD, F. P. & MOORE, D. G. Sedimentary Environments Differentiated by Coarse Fraction Studies. **AAPG Bulletin**, 38(8):1792-1802. 1954.
- SILVA, J. P. **Estudos sedimentológicos, hidrodinâmicos, batimétricos e da qualidade da água visando à evolução e os aspectos ambientais associados do estuário do Rio**

- Formoso-PE.** Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, 146 p. 2008.
- SIQUEIRA, B. K. **Contribuição ao processo sedimentar atual no Canal do Ararapira, sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP).** Dissertação. Universidade de São Paulo. 118 p. 2007.
- SOUZA, N. G. A. **Estudo geoquímico e geocronológico dos sedimentos de fundo do sistema estuarino Goiana-Megaó, Pernambuco.** Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, 110 p. 2013.
- STATSOFT, I. N. C. Statistica (Data analysis software system), **version 13.** 2013. Disponível em: <<http://www.statsoft.com>>. Acesso em: 03/11/2015.
- STEIN, R. **Accumulation of Organic Carbon in Marine Sediments.** Results from the Deep Sea Drilling Project/ Ocean Drilling Program. Bhattacharji, S; G. M. 1991.
- SUGUIO, K. Introdução à Sedimentologia. São Paulo, **Ed. Edgard Blücher/EDUSP.** 317 p. 1973.
- SUMMONS, R. E. Biochemical cycles: a review of fundamental aspects of organic matter formation, preservation and composition. Engel, M. H.; Macko, S. A. (eds) **Organic Geochemistry.** New York: Plenum Press, v. 11, p. 3-21. 1993.
- TYSON, R. V. Sedimentary organic matter: organic facies and palynofacies. London, **Chapman & Hall,** 615 p. 1995.
- WOLANSKI, E. et al. Modelling and visualizing the fate of shrimp pond effluent in a mangrove-fringed tidal creek. **Estuarine, Coastal and Shelf Science,** v. 50, n. 1, p. 85-97, 2000.
- WOOLER, M. et al. Carbon and nitrogen stable isotopic variation in *Laguncularia racemosa* (L.) (White mangrove) from Florida and Belize: implications for trophic level studies. **Hydrobiologia.** 499:13-23. 2003.
- XAVIER, M. W. **Caracterização geomorfológica, sedimentológica e aspectos ambientais do litoral de Goiana, Pernambuco.** Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, 72 p. 2007.