

Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil *

Modern sedimentary processes and the distribution of organic matter in a tropical estuarine system, Recife, PE, Brazil

Thaís de Santana Oliveira^{@, 1}; Roberto Lima Barcellos¹;
Carlos Augusto França Schettini¹; Plínio Barbosa de Camargo²

RESUMO

O presente estudo avalia as condições ambientais do complexo estuarino dos rios Capibaribe, Beberibe e Bacia do Pina, a partir de conhecimentos sobre a matéria orgânica sedimentar, associados a análises sedimentológicas tradicionais. Para isso, foram realizadas análises granulométricas e dos conteúdos de matéria orgânica total e carbonato biodetrítico de 50 amostras coletadas (nov-dez/2012), correlacionando-os aos condicionantes locais. Análises elementares e isotópicas da matéria orgânica contida nos sedimentos superficiais também foram feitas. Com base nos resultados obtidos, foram efetuadas análises de correlação, agrupamento e componentes principais. Os resultados revelaram predomínio de sedimentos siltosos, pobremente selecionados e com altos teores orgânicos (1,2 to 15,2%), por se tratar de um ambiente altamente eutrofizado. Os teores de carbonatos não obedecem a uma relação direta apenas com uma fração granulométrica específica, mas também com uma fonte disponível, e foram classificados como litoclásticos em sua maior parte. Independentemente das diferenças que possam existir na interpretação dos parâmetros indicadores da matéria orgânica sedimentar (-26,20 a -21,62‰PDB e -0,96 a 6,0 ‰Ar razões isotópicas do C e N, respectivamente), os dados atuais e a comparação com trabalhos anteriores permitem concluir que o sistema é um ambiente deposicional de baixa energia submetido à forte influência de fontes terrígenas, em especial antrópicas, com influência marinha na sedimentação em porções específicas do sistema. A área comporta-se como um retentor natural de sedimentos e caracteriza-se como um ambiente estuarino confinado, assoreado, densamente urbanizado e com aporte perene de sedimentos silty finos, de composição siliciclástica e argilas, com teores orgânicos altos. Essa conjunção de fatores produz um ambiente de sedimentação costeira de grande vulnerabilidade ambiental, indicado pela classificação como hipertrófico, o que se deve ao fato de todo sistema estuarino captar principalmente efluentes de esgoto doméstico e industrial sem tratamento, dentre outras fontes de poluição.

Palavras-chave: Sedimentação estuarina, matéria orgânica, poluição.

ABSTRACT

The present study evaluates the environmental conditions of the Capibaribe and Beberibe estuarine systems and Pina Basin, by mean of sedimentary organic matter characteristics associated with traditional sedimentary analysis. The employed parameters were the grain size, carbonate contents and the elemental and isotopic sedimentary organic matter analysis (C, N,

[@] corresponding author: <thaislufpe@gmail.com>

¹ Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Oceanografia, Recife (PE), Brasil.

² Universidade de São Paulo (USP), Divisão de Funcionamento de Ecossistemas Tropicais, Laboratório de Ecologia Isotópica, CENA, Piracicaba (SP), Brasil.

$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$), correlating this proxies to local environmental conditions in 50 surface sediment samples. Correlation analysis, cluster and principal components were made based on the results. The analysis revealed a predominance of the silty sediments, poorly selected and with high organic contents (1.2 to 15.2%) because it is a highly eutrophic environment. The carbonate contents do not present a direct relationship only with a specific grain size fraction (sand), but also with an available marine source. The stable isotopic ratios ranged from -26.20 to -21.62 ‰PDB ($\delta^{13}\text{C}$) and -0.96 to 6.05 ‰Ar ($\delta^{15}\text{N}$). The current data and the comparison with previous work indicate a low-energy depositional environment, submitted to the strong influence of terrigenous sources, anthropogenic, in particular with marine influence on sedimentation in specific portions of the system. The area acts as a natural trap of sediments and is characterized as a confined estuarine environment, subjected to a strong silting process, densely urbanized with perennial supply of fine silty siliciclastic and clayey sediments, with high organic contents. This combination of factors produces an environment of coastal sedimentation with high environmental vulnerability, indicated by the classification as hypertrophic. This is a direct result of the anthropic multiple uses of the estuarine system, mainly associated to domestic and industrial sewage in natura discharges to the area, among other sources of pollution.

Keywords: Estuarine sedimentation, organic matter, pollution.

1. Introdução

Ambientes deposicionais são caracterizados por estrutura, textura, restos biogênicos contidos, mineralogia e geometria particulares, devido à especificidade dos processos químicos, físicos e biológicos que operaram para gerá-los em seu ambiente deposicional (Boggs, 1995). O corpo sedimentar formado pode, então, guardar em si registros da história evolutiva desse ambiente e de seu comportamento dinâmico atual, fornecendo informações sobre a origem do material, os meios de transporte e as características do ambiente de deposição, que geram subsídios para a compreensão dos processos que nele estão ocorrendo e suas relações ecológicas. Dessa forma, características texturais e composicionais dos sedimentos podem conduzir a uma melhor compreensão das tendências naturais do ambiente estudado, auxiliando, portanto, em análises ambientais.

Inserem-se nesse contexto estudos sobre a distribuição e as características da matéria orgânica nos sedimentos. De acordo com Wetzel (1983), os principais componentes que constituem os sedimentos são a matéria orgânica em vários estados de decomposição, partículas minerais, incluindo argilas, carbonatos e silicatos não argilosos, e uma componente inorgânica de origem biogênica, como certas formas de carbonato. Os constituintes orgânicos são bastante sensíveis aos diversos fatores que condicionam os processos de deposição, assumindo a matéria orgânica, portanto, um caráter esclarecedor quando combinada com algumas das propriedades composicionais dos sedimentos (Bader, 1955).

Pettijohn (1975) afirma que os parâmetros granulométricos são bons instrumentos na interpretação da hidrodinâmica dos fundos de áreas marinhas. O mesmo autor afirma, ainda, que a acumulação de matéria orgânica em sedimentos é fortemente dependente da quantidade em argila depositada devido ao processo de adsorção. Trask (1939 *apud* Tyson, 1995) acrescenta,

também, que o conteúdo orgânico de sedimentos das margens continentais geralmente aumenta quando os grãos que os constituem tornam-se mais finos. Isso ocorre porque as argilas concentram, comumente, cerca de duas vezes mais matéria orgânica que siltes, e cerca de quatro vezes mais matéria orgânica que as areias muito finas. O conteúdo orgânico, dessa forma, pode ser diretamente correlacionado com a mediana, com o diâmetro médio e, principalmente, com a porcentagem de argila do sedimento. Entretanto, fatores naturais, tais como a disponibilidade de nutrientes e/ou outros decorrentes da ação humana, vão influenciar em um maior teor de matéria orgânica em argilas.

O conhecimento da natureza da matéria orgânica, além de permitir a avaliação das áreas de circulação mais efetiva e das tendências do meio quanto ao potencial redox, fornece parâmetros fundamentais para o estudo de ecossistemas bentônicos, pois é essencial para a manutenção destes. A sua natureza permite avaliar a maior ou menor disponibilidade de uso pelos organismos de fundo. Quando é originária do continente, é mais refratária à absorção por organismos, havendo a necessidade de atividade bacteriana para promover seu enriquecimento em nutrientes. Quando sua proveniência, no entanto, advém da produção primária fitoplanctônica, há maior disponibilidade para o aproveitamento em níveis tróficos superiores. Assim, os compostos orgânicos possuem importância vital nos processos naturais, além de afetar, de forma direta e indireta, uma série de processos geológicos, tais como: compactação, cristalização, diagênese, dissolução, floculação, sedimentação, segregação mineral e suspensão (Rashid, 1985).

Reconstruções ambientais e espaço-temporais da zona costeira utilizam os diversos parâmetros oriundos do estudo da matéria orgânica sedimentar, como a razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$ e a razão elementar C/N, para fornecer informações sobre a origem do material orgânico preservado em ambientes costeiros (Lamb et al., 2006).

Tal fato permite avaliar condições ambientais de áreas sedimentares, propiciando análises sobre as condições naturais da área e inferências sobre a ação antrópica nela.

Os ecossistemas estuarinos são considerados ambientes eutróficos, devido à alta produtividade primária, conduzindo uma relação direta com os nutrientes fornecidos por várias fontes naturais e antrópicas (Eschrique, 2003). Estudar a distribuição sedimentar dessas áreas, juntamente com a origem do material orgânico, possibilita a compreensão do processo de sedimentação atual e dos diferentes fatores que interferem no processo, tanto no tempo quanto no espaço (Barcellos, 2005).

Na costa pernambucana, o desenvolvimento das atividades econômicas ocorrido nas últimas décadas, acompanhado do turismo e da intensa especulação imobiliária, tem causado grandes danos ao meio estuarino, que vem sofrendo com as consequências geradas pelas descargas de esgotos urbanos, resíduos industriais e agroindustriais, refletidas em uma região altamente eutrofizada devido à ação antrópica (Coimbra *et al.*, 1987; Silva-Cunha *et al.*, 1990; Travassos *et al.*, 1991; Maia, 1995; Feitosa *et al.*, 1999; Nascimento *et al.*, 2003; Passavante, 2003; Silva, 2003; Anjos, 2007; CPRH, 2008; Santos *et al.*, 2009; Noriega, 2010; Nóbrega, 2011).

Sendo assim, o presente estudo teve por objetivo principal avaliar as condições ambientais do complexo estuarino dos rios Capibaribe, Beberibe e Bacia do Pina, a partir de estudos sobre a matéria orgânica sedimentar, associados a análises sedimentológicas tradicionais, na forma de gerar subsídios científicos para a gestão costeira da área.

2. Material e métodos

2.1. Área de estudo

O complexo estuarino dos rios Capibaribe, Beberibe e Bacia do Pina (Figura 1) está localizado na zona urbana das cidades do Recife e Olinda, sendo formado pelos seguintes corpos d'água: canal principal do Rio Capibaribe e seu braço sul, o canal do Rio Beberibe, os rios Tejipiú/Jiquiá e os canais de maré do Jordão e do Pina.

O Capibaribe é o maior rio do complexo estuarino e do estado de Pernambuco. Com 240 km de extensão e vazão de 19 m³/s, corta 42 municípios ao longo do seu curso. (Pernambuco, 2010). Os demais rios que formam o complexo possuem uma extensão menor do que 25 km e também fazem parte da Região Metropolitana do Recife. Todos recebem efluentes domésticos e industriais, comprometendo a qualidade da água e seu estado trófico. O Rio Beberibe é considerado um dos mais poluídos de Pernambuco, visto que os assentamentos precários, instalados em

encostas e em suas margens, contribuem para a contaminação de suas águas. Em contrapartida, é o Capibaribe o 7º rio considerado mais poluído do Brasil (IBGE, 2012).

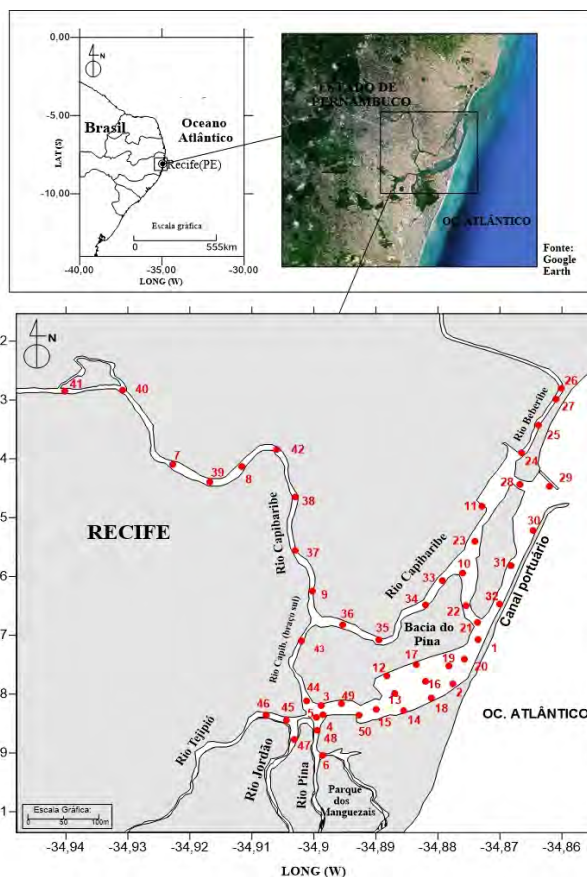


Figura 1 - Área de estudo com a localização das estações de coleta de sedimento.

Figure 1 - Study area location and sampling stations.

A Bacia do Pina está situada na parte interna do Porto do Recife e separada do Oceano Atlântico por meio de um dique artificial construído sobre os recifes naturais. É formada pela confluência dos Rios Capibaribe (braço sul), Tejipiú/Jiquiá, Jordão e Pina, sendo, por isso, considerada um sistema estuarino. Através dos rios, a bacia recebe descargas de efluentes domésticos, das galerias pluviais e de diversos tipos de indústrias, com destaque para as de produtos químicos e as que lidam com alimentos e bebidas (Nóbrega, 2011), além de possuir constante tráfego de embarcações, por ser uma área portuária. É um ambiente dinâmico e exerce um papel de grande importância socioeconômica, principalmente para a população circunvizinha, de baixa-renda, onde coleta, diariamente, peixes, moluscos e crustáceos (Feitosa, 1999).

A área de estudo possui clima do tipo As', denominado tropical quente e úmido, com chuva de outono-inverno, de acordo com a classificação de Köppen, apresentando uma estação seca ou de estiagem, que se prolonga de setembro a fevereiro, e uma estação chuvosa, de março a agosto. A temperatura média anual é de 25°C, com

uma média pluviométrica acima de 2.000 mm. E as marés são do tipo semidiurna, com amplitude média de sizígia de 2,0m e de quadratura com 0,7m.

Em experimento efetuado em pontos distintos do baixo estuário, em condições de quadratura (19/03/2013), foram instalados 6 ADCPs (Perfiladores de *Corrente* Acústicos Doppler), que mediram velocidades de corrente mais intensas (0,50 m/s), no canal principal do Rio Capibaribe, em frente ao Sport Clube do Recife. Enquanto que, em condições de sizígia (26/03/2013), chegaram a 0,80 m/s, na Bacia de Santo Amaro, local próximo de onde se encontra o prédio da Polícia Federal (Carlos Schettini comunicação pessoal). Essas correntes mais intensas ocorreram na maré de vazante, assim como as identificadas por Monteiro *et al.* (2011).

Silva (2003) determinou a batimetria do Rio Capibaribe e encontrou profundidades menores que 4 metros até 9 metros. E Monteiro *et al.* (2011) expõem que a elevação do fundo da Bacia para o Estuário dificulta a entrada das marés de enchente, causando uma mistura entre as águas fluviais da bacia hidrográfica do Capibaribe com as águas marinhas. A forma e a batimetria da bacia, além de contribuírem no seu padrão de circulação, são úteis na eliminação de poluentes; o estreitamento e a brusca mudança da batimetria geram um efeito de jato que contribui para a promoção da circulação na bacia e para o seu “flushing” (Araújo; Pires, 1998). Devido a essa circulação, o estuário do Capibaribe é classificado como um estuário de planície, pouco profundo e parcialmente misturado (Monteiro *et al.*, 2011).

2.2. Atividades de campo

Foram coletadas 50 amostras de sedimentos na estação seca (nov-dez/2012). De cada amostra total coletada com auxílio de um amostrador de fundo tipo “Van-Veen”, uma porção (cerca de 20 g) para a análise de C e N orgânicos foi acondicionada em um saco plástico, etiquetada e congelada a bordo, com objetivo de evitar atividade bacteriana posterior à coleta. Cerca de 250 g foram acondicionados em outro saco plástico, também etiquetado, para a realização das análises granulométricas, matéria orgânica total e de carbonatos.

2.3. Atividades de laboratório

No laboratório, as amostras foram secadas em estufa a 50°C para a realização das análises sedimentológicas: granulometria e análises composicionais do sedimento, conteúdo de carbonatos e de matéria orgânica total determinados a partir da diferença em peso seco, antes e após ataque com solução de HCl a 10% e de H₂O₂ a 10%, respectivamente, de acordo com os métodos descritos em Suguio (1973).

A análise da composição elementar da matéria orgânica do C e N e das razões de isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) foi realizada em 30 amostras

após um tratamento preliminar para a eliminação do CaCO₃ existente, conforme descrito em Hedges & Stern (1984). 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 do Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA-ESALQ-USP (Piracicaba, SP). Esses dados, expressos em % (C e N), 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 foram separados por cromatografia gasosa, purificados e carreados por um fluxo contínuo de Hélio. 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). Os valores das razões C/N, por sua vez, serão obtidos pela simples divisão entre os teores dos elementos de cada amostra analisada.

2.4 Tratamento dos dados

Os dados sofreram tratamento segundo os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e do diagrama triangular de Shepard (1954) por meio do programa *Sysgran* (3.1) (Camargo, 2006), que permitiu a obtenção do diâmetro médio, grau de seleção, além dos teores de grânulos, areia, silte e argila.

Foi elaborada tabela relacionando os dados de posicionamento, profundidade, conteúdos orgânicos e sedimentologia das estações de coleta utilizando o *software Excel for Windows* (7.0). E os índices de correlação linear de Pearson também foram obtidos com o citado programa. O mapa de localização da área de estudo e os de distribuição para a análise espacial dos parâmetros utilizados foram elaborados através do programa *Surfer for Windows* (11.0).

Já para o tratamento conjunto dos dados, foi utilizado o *software Primer 6*, para efetuar a análise de agrupamento de Cluster e a análise dos componentes principais (PCA), com os seguintes parâmetros: areia (%), silte (%), argila (%), teores elementares de C e NT (%), razões isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$), MOT (%) e carbonatos (%).

3. Resultados e discussão

No anexo 1 do material suplementar, encontram-se as posições e os dados sedimentológicos das estações de coleta (granulometria, classificação de Shepard (1954), parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957), valores de C e N elementares, razões C/N e valores dos isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$), teores de carbonatos e matéria orgânica total). E, na tabela 1, as análises de correlação relacionaram os conteúdos de lama e os parâmetros composicionais do sedimento.

Tabela 1 - Análise de correlação linear entre a lama e os parâmetros composicionais do sedimento. CaCO₃, MO, N e Lama em percentagens.

Table 1 - Linear correlation analysis between the mud and the sediments compositional parameters. CaCO₃, MO, N and mud in percentages.

	CaCO ₃	MO	C	N	¹³ C	¹⁵ N	C/N	Lama
CaCO ₃	1,00	X	X	X	X	X	X	X
MO	0,24	1,00	X	X	X	X	X	X
C	-0,03	0,40	1,00	X	X	X	X	X
N	-0,01	0,38	0,98	1,00	X	X	X	X
¹³ C	0,56	0,05	-0,40	-0,33	1,00	X	X	X
¹⁵ N	0,54	0,06	-0,40	-0,46	0,52	1,00	X	X
C/N	0,04	0,15	0,03	-0,10	-0,48	0,39	1,00	X
%Lama	0,10	0,77	0,68	0,69	-0,14	0,21	0,10	1,00

A análise espacial dos sedimentos no Sistema Estuarino dos rios Capibaribe, Beberibe e Bacia do Pina revelou, com base em Shepard (1954), um predomínio de sedimentos siltosos (Figura 2). E, segundo os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957), os resultados obtidos foram heterogêneos, apresentando sedimentos que variaram de areia grossa a silte muito fino, porém prevalecendo sedimentos siltosos com diâmetro médio entre 4,17 e 7,75φ. Do total coletado, 54% mostraram-se pobremente selecionados (1,00-1,99).

justifica a heterogeneidade dos sedimentos e o fato de serem pobremente selecionados pelo efeito da mistura de diversas fontes fluviais e marinha, contrastando-se com o estuário do Rio Jaboatão, onde Barcellos *et al.* (2012) encontraram, em sua maioria, areias, em coletas realizadas no período seco, apresentando sedimentos pobremente selecionados.

A profundidade influenciou para definir o tipo de sedimento, pois, apesar de todo o sistema ser caracterizado pela presença de sedimentos finos, as amostras coletadas nas margens do sistema possuem altos teores de silte e argila, com exceção da estação 50 (areia argilosa). No entanto, as coletas realizadas no canal de navegação, em zonas mais profundas, não apresentaram um padrão quanto à classificação de Shepard (1954), apresentando sedimentos das 3 classes granulométricas.

Os teores de carbonatos variaram entre 2,0 e 76,1% (Figura 3), porém com a dominância de sedimentos litoclásticos (siliciclásticos) em 92% das amostras, que, segundo a classificação de Larssoneur *et al.* (1982), são os sedimentos que possuem valores de carbonatos menores que 30%. As maiores concentrações decorrem de influências locais específicas e são amostras compostas em geral por sedimentos arenosos pobremente selecionados e com baixos conteúdos de lama. Predominam no canal portuário, em virtude da influência marinha, e próximos às áreas de atividade dos marisqueiros no Rio Jordão e na Bacia do Pina. Fato comprovado também por Marcondes (2009), na Bacia do Pina (22 e 40%) e em estudo sobre a plataforma continental interna adjacente ao Porto do Recife, caracterizada por sedimentos como areias biogênicas mal selecionadas (Andrade, 2013).

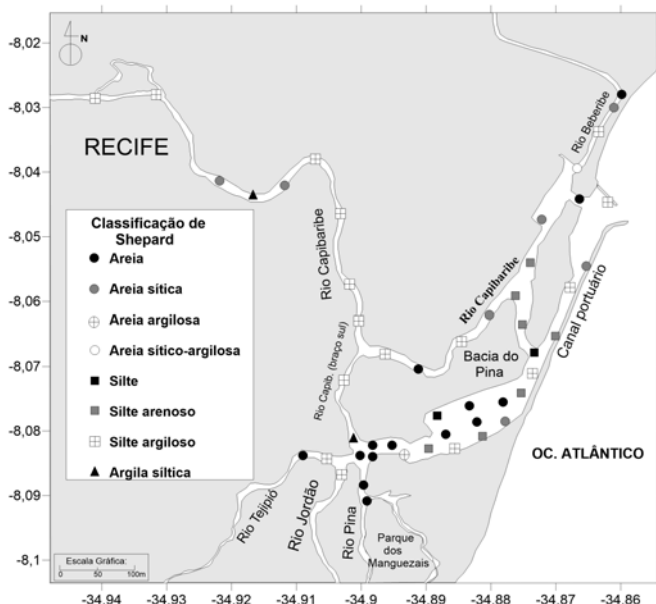


Figura 2 - Classificação de Shepard (1954).
Figure 2 - Shepard's classification (1954).

Resultado similar foi encontrado no Rio Capibaribe em setembro de 2011 (Oliveira *et al.*, 2013), assim como na Bacia do Pina em 2009 (Marcondes, 2009). A autora

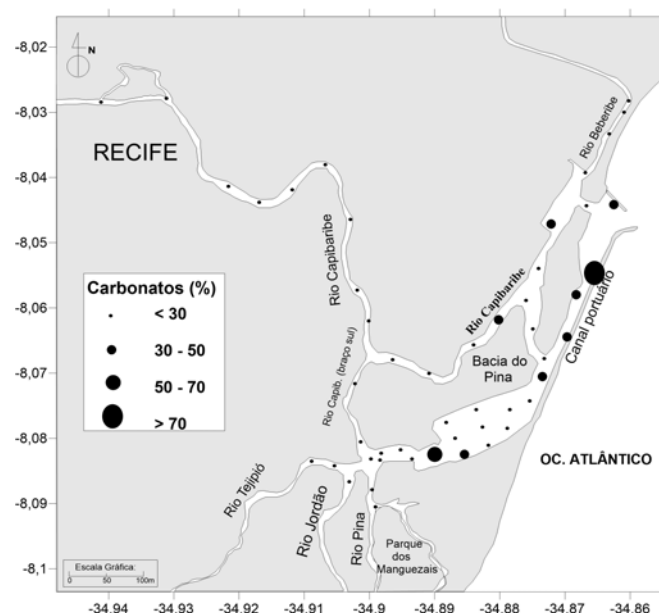


Figura 3 - Distribuição de carbonatos (%) nos sedimentos.
Figure 3 - Spatial distribution of carbonates (%) in sediments.

Alves *et al.* (2013) obtiveram valor médio de 17,4% no estuário do Rio Jaboatão em novembro de 2010, enquanto que no Rio Capibaribe observou-se variação de 2,5 a 48,7% em setembro de 2011 (Oliveira *et al.*, 2013). Para Aguiar Neto *et al.* (2008), os teores de carbonato de cálcio não obedecem a uma relação direta apenas com uma fração granulométrica específica, mas com uma fonte disponível, como a ocorrência de algas calcárias e fragmentos de conchas.

Os percentuais de MOT variaram de 1,2 a 15,2% (Figura 4), estando os valores acima de 5% (64% das amostras) associados a sedimentos lamosos que, no geral, apresentaram uma camada fina de coloração esverdeada na superfície (algas/microfitobentos), indicativos da alta produtividade primária local. O menor (estação 26) e o maior (estação 24) teor de MOT estão no Rio Beberibe, sendo o mais baixo associado a uma área constantemente dragada. E os altos teores em toda a área estudada se devem ao fato de se tratar de um ambiente altamente eutrofizado devido aos grandes aportes de esgoto in natura lançados pela população ($\pm 1.000.000$ hab.) nos cursos d'água do complexo. Fontes naturais de material advindas do Manguezal do Pina e dos aportes fluviais terrígenos do Rio Capibaribe, o maior do litoral de Pernambuco, podem também influenciar nesses altos conteúdos orgânicos.

por Rocha (2000), e no estuário do Rio Timbó (entre 7,1% e 23,6%) por Noronha *et al.* (2011).

Betemps & Sanches Filho (2012) observaram também uma relação entre altos teores de matéria orgânica, bem como os teores de finos com os níveis de metais presentes em sedimentos. Macedo *et al.* (2007) afirmaram que o estuário do Rio Capibaribe encontra-se altamente impactado por metais pesados (cromo, ferro, manganês e zinco), ao analisarem os teores em sedimentos superficiais.

Estudos da distribuição dos teores de matéria orgânica revelaram que há uma relação direta desse parâmetro com a granulometria do sedimento, com o grau de confinamento do ambiente e com sua profundidade. Locais que apresentam uma profundidade baixa (próximo às margens, por exemplo) possuem maior concentração de matéria orgânica. Porém, na presente pesquisa, mesmo nas estações de coleta com maiores profundidades (6,5 e 8,0 m), e onde predominam condições hidrodinâmicas mais intensas (canal portuário), os sedimentos apresentaram teor de matéria orgânica > 5%.

Os teores de carbono orgânico variaram de 0,16 a 8,99% (Figura 5), com predomínio de teores menores que 3%. Os valores mais altos estão associados a sedimentos finos e presença de alto teor de matéria orgânica, como na estação 45. As correlações apresentadas entre os teores de lama (silte e argila) e MOT ($r^2=0,77$) e entre a lama e o carbono ($r^2=0,68$) (Anexo 1) indicam que o conteúdo orgânico é diretamente correlacionado e fortemente dependente da quantidade de finos depositados, devido ao processo de adsorção. No entanto, os mais baixos teores de orgânicos correspondem a sedimentos arenosos, como as estações localizadas na Baía do Pina e no canal portuário, estando na estação 19 o menor teor.

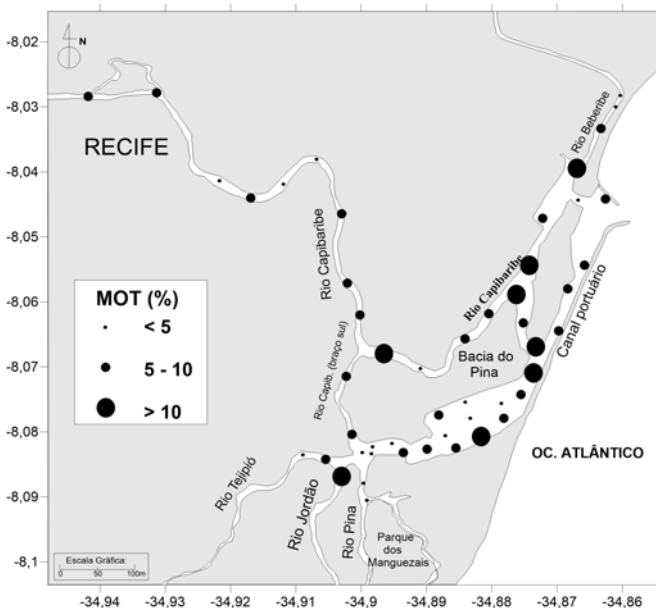


Figura 4 - Distribuição de matéria orgânica total (%) nos sedimentos.

Figure 4 - Spatial distribution of total organic matter (%) in sediments.

Padrão semelhante foi observado nos teores de matéria orgânica encontrados por Marcondes (2009) na Baía do Pina (até 14%), porém Silva (2010), no Rio Pina e na área de confluência entre os rios Capibaribe, Tejupió/Jiquiá, Pina e Jordão, registrou valores entre 4 e 23%. Valores mais altos também foram encontrados no complexo estuarino de Itamaracá (entre 7,5 e 22,9%)

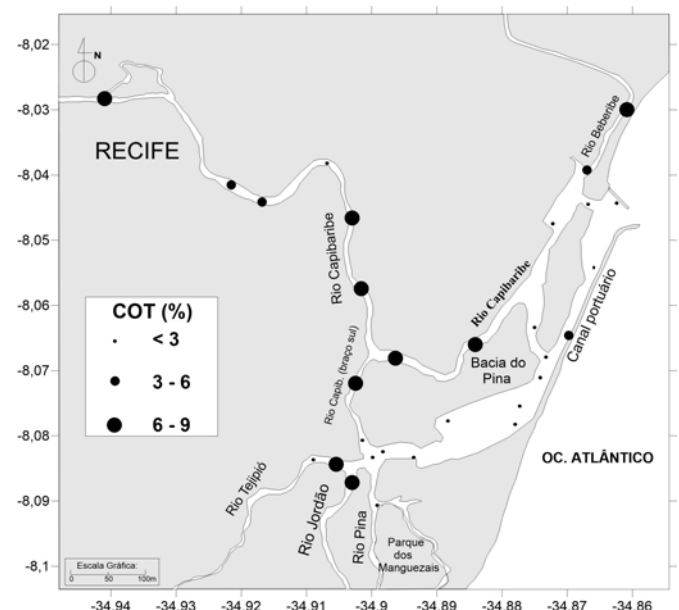


Figura 5 - Conteúdos de carbono orgânico (%) dos sedimentos coletados.

Figure 5 - Organic carbon contents in sediments (%).

Na área estudada, os teores de carbono orgânico > 4% estão associados a valores > 10% de MOT e, de acordo com a legislação (Resolução CONAMA 454/12), as dragagens desses sedimentos com altos teores orgânicos podem causar prejuízos ao ambiente não só na área dragada, mas também na área de disposição de tais sedimentos.

As concentrações de nitrogênio total variaram de 0,02 a 0,98% (Figura 6), predominando teores entre 0,10 e 0,50%. Sua distribuição apresenta-se semelhante à do carbono orgânico, em que, no geral, os teores < 0,50% estão na Bacia do Pina e em áreas onde predomina a influência marinha, como na estação 19, com o menor valor. Também apresentou correlação significativa entre o presente parâmetro e a lama com $r^2 = 0,69$, reforçando a associação entre os sedimentos finos e os teores elementares da matéria orgânica.

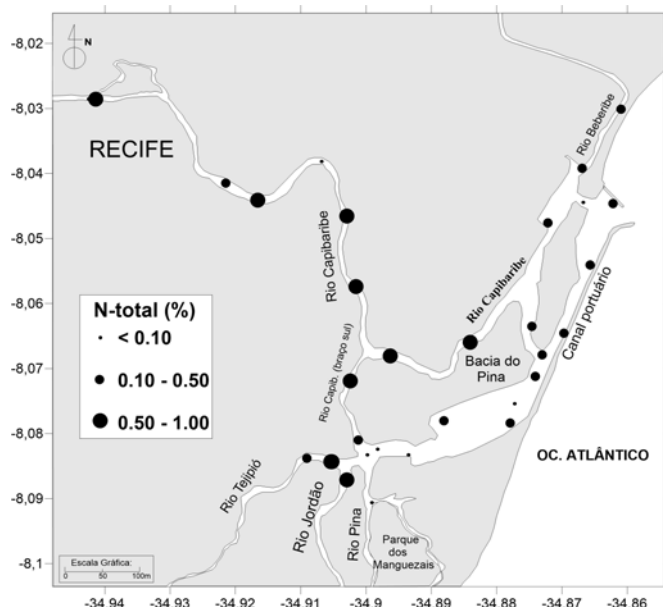


Figura 6 - Conteúdos de nitrogênio total (%) dos sedimentos coletados.

Figure 6 - Nitrogen contents in sediments (%).

Ruiz-Fernández *et al.* (2002) notaram grande semelhança entre a distribuição do carbono orgânico e do nitrogênio total ao estudar o impactado estuário do Rio Culiacan, no México, onde os teores dos citados parâmetros apresentaram correlação significativa de $r^2 = 0,92$. Fato também observado na presente pesquisa, em que a análise de correlação entre o carbono orgânico e o nitrogênio total teve como resultado $r^2 = 0,98$.

Santos *et al.* (2013) encontraram valores mais baixos (0,00 a 0,33%) no estuário do Rio São Francisco (SE/AL), considerando a oligotrofia do sistema. Assim como Barcellos & Furtado (2006) (0,00 a 0,25%) e Barcellos *et al.* (2009) (0,03-0,26%), para o Canal de São Sebastião (SP) e o Sistema Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape (SP), respectivamente. Enquanto que Zocatelli *et al.* (2007), no estuário do Rio Jaguaribe

(CE), observaram alta concentração (5,4%) em área de canal que drena extensa produção de carcinicultura.

Os valores da razão C/N variaram de 6,79 a 14,92 (Figura 7), apresentando em geral uma origem mista de acordo com os intervalos observados na literatura (Saito *et al.*, 1989; Mahiques *et al.*, 1999; Barcellos, 2005). Dentre as amostras, 30% exibiram matéria orgânica de origem marinha (C/N entre 4 e 10); 23% (C/N \geq 12) são de origem continental e 47% (C/N entre 10 e 12) possuem uma mistura de material planctônico marinho e de plantas terrestres. O maior valor encontra-se no Rio Beberibe (estação 24), onde foi registrado o maior teor de MOT. Enquanto que o menor valor foi encontrado no Rio Pina (estação 6), local com maior teor de areia entre as amostras coletadas. Os resultados apresentados foram corroborados pela forte correlação entre os teores de carbono orgânico e nitrogênio (Tabela 02), apontando fontes similares de matéria orgânica.

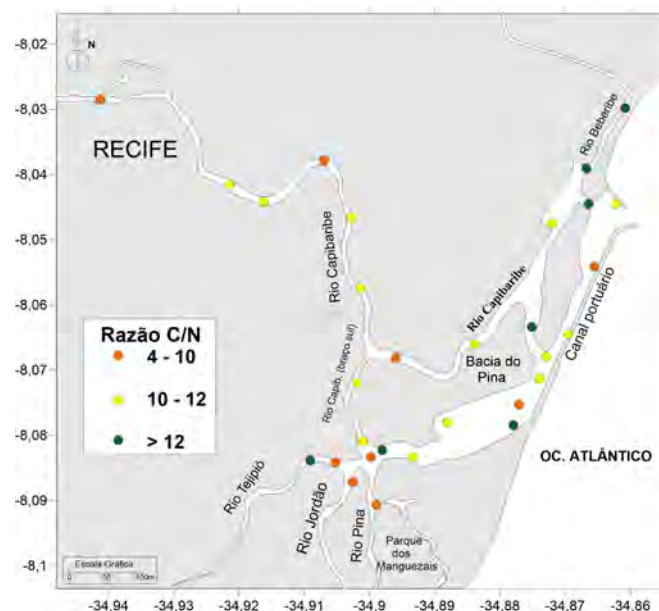


Figura 7 - Valores da razão C/N nos sedimentos.

Figure 7 - Values of C/N ratio in sediments.

Os conteúdos da razão isotópica $\delta^{13}C$ variaram de -26,20 a -21,62‰PDB (Figura 8). A matéria orgânica sedimentar, de acordo com os valores, indicou que dez estações têm origem marinha com teores mais enriquecidos (> -24‰PDB) (Chester & Riley, 1978; Ruttemberg e Goñi, 1997; Stein, 1991; Meyer, 1997; Lamb *et al.*, 2006), fato que foi reforçado pelos valores da razão C/N entre 6,8 a 9,2 em algumas das estações. As demais amostras possuem origem continental (< -24‰PDB).

Bouillon *et al.* (2002), estudando os sedimentos do estuário Andhra Pradesh, na Índia, observaram valores entre -24,2 e -17,8‰PDB, onde os valores máximos (-17,8 e -19,1‰PDB) foram encontrados no centro da baía. De acordo com os autores, os valores mais baixos

(<-21‰PDB) estão relacionados à pluma de um canal com grande quantidade de $\delta^{13}\text{C}$ de origem continental ou associados ao esgoto.

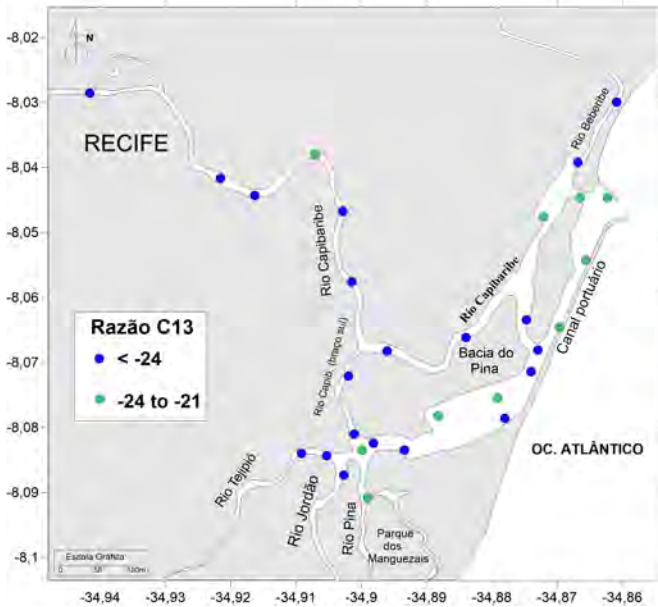


Figura 8 - Distribuição da razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$ nos sedimentos coletados.

Figure 8 - Spatial distribution of isotopic ratio $\delta^{13}\text{C}$ in sediments.

Também na Índia, no estuário Cochin, Gireeshkumar *et al.* (2013) obtiveram valores mais similares com o presente sistema estuarino de -27,5 a -21,7‰PDB em sedimentos superficiais. Neste último, foi observado um aumento gradual dos valores da razão isotópica da parte interna do estuário em direção ao exutório, os quais sugerem uma contribuição cada vez maior de matéria orgânica autóctone marinha. Fato também constatado na presente pesquisa e por Barcellos (2005) e Barcellos *et al.* (2005) no sistema de Cananéia-Iguape (SP).

Os valores da razão isotópica $\delta^{15}\text{N}$ variaram de - 0,96 a 6,05‰Ar, com predominância de conteúdos entre 2,0 a 4,0‰Ar (Figura 9). São valores situados na faixa observada para fontes continentais. Conteúdos entre 4 e 6‰Ar encontram-se situados dentro da faixa para fontes marinhas, correspondendo às estações de coleta próximas à saída do canal portuário. Destaque para a estação 30, que possui os maiores teores de $\delta^{15}\text{N}$ e carbonato, corroborando tal afirmação. O presente parâmetro apresentou correlações pouco significativas com os demais parâmetros (vide Tabela 2), o que pode indicar um comportamento independente em relação aos processos sedimentares da matéria orgânica, relacionado ao imbricado processo de ciclagem deste elemento.

Ogrinc *et al.* (2005) conferiram assinatura de 1,8‰Ar para o esgoto doméstico no Mar Adriático, fato que também pode ocorrer no sistema estuarino estudado, devido ao grande aporte de esgoto captado por suas águas, com volume acima de 22.000 m³/ano (Ericson *et al.*, 2005), e estando apenas 42,9% dos domicílios da

cidade do Recife ligados à rede geral de esgotamento sanitário (Secretaria de Saneamento do Recife, 2008). No entanto, observa-se, no presente estudo, que os valores de $\delta^{15}\text{N}$ dos materiais de diferentes origens se sobrepõem, fato que dificulta a identificação da origem da matéria orgânica através desse parâmetro. Fukumoto (2003) afirma que também não foi possível distinguir o nitrogênio de origem antrópica em amostras de sedimentos superficiais da Baía de Santos (SP) através desse parâmetro, mesmo sendo esta uma região conhecida pela influência antrópica.

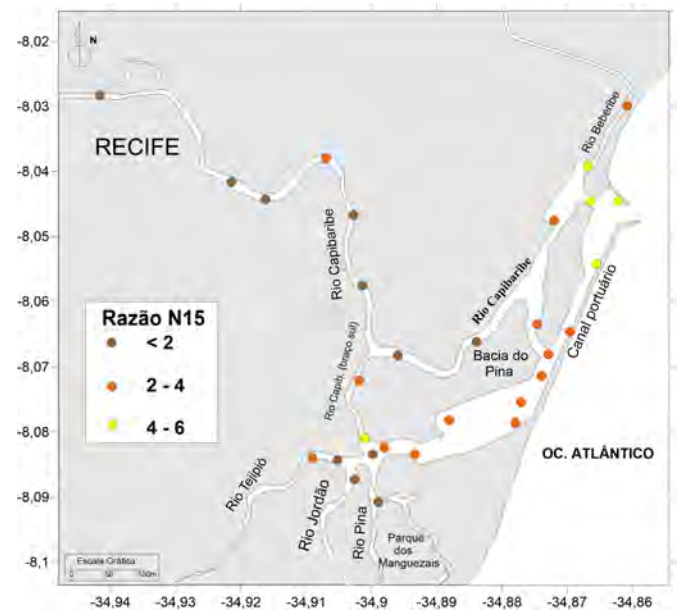


Figura 9 - Distribuição da razão isotópica $\delta^{15}\text{N}$ nos sedimentos coletados.

Figure 9 - Spatial distribution of isotopic ratio $\delta^{15}\text{N}$ in sediments.

A faciologia dos sedimentos (Figura 11), determinada através de informações obtidas por meio de um corte transversal no dendograma gerado por meio da análise de agrupamento (Figura 10), permitiu o reconhecimento de três fácies diferenciadas, principalmente pelos teores de areia, silte e composições elementares (C e N).

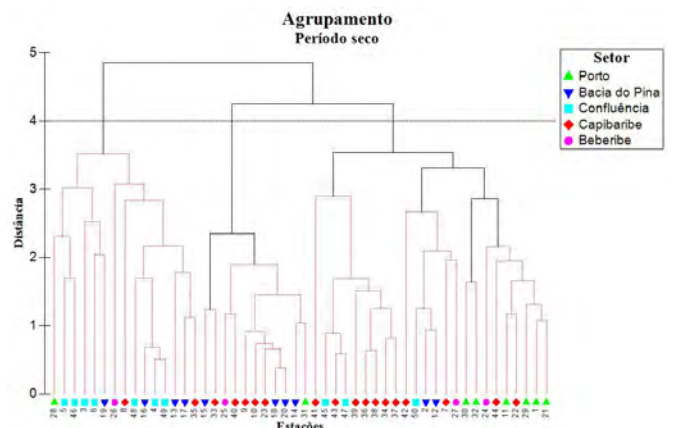


Figura 10 - Dendrograma gerado a partir de análise de agrupamento.

Figure 10 - Dendrogram from cluster analysis.

A fácies I é caracterizada pelas amostras mais arenosas, com razão isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ apresentando valores que indicam matéria orgânica de origem continental. É composta por quinze amostras que predominam na área de confluência dos rios (braço sul do Capibaribe, Tejipló, Jordão e Pina) e na Bacia do Pina, associadas às áreas de maior hidrodinâmica do sistema.

A fácies II apresenta sedimentos siltosos e com altos teores de MOT e carbonato, indicando locais com menor intensidade de correntes. É composta pelas amostras que não tiveram os teores elementares e as razões isotópicas analisados. As onze amostras desse grupo dividem-se em sua maioria na Bacia do Pina e no Rio Capibaribe, com um ponto no canal portuário e um no Rio Beberibe.

A fácies III possui 24 amostras que não apresentam um padrão definido de distribuição, estando presentes em todo o sistema. Apresenta os maiores teores elementares e valores intermediários de MOT e carbonatos. As razões isotópicas possuem origem continental e com os valores mais baixos quando comparados às demais fácies.

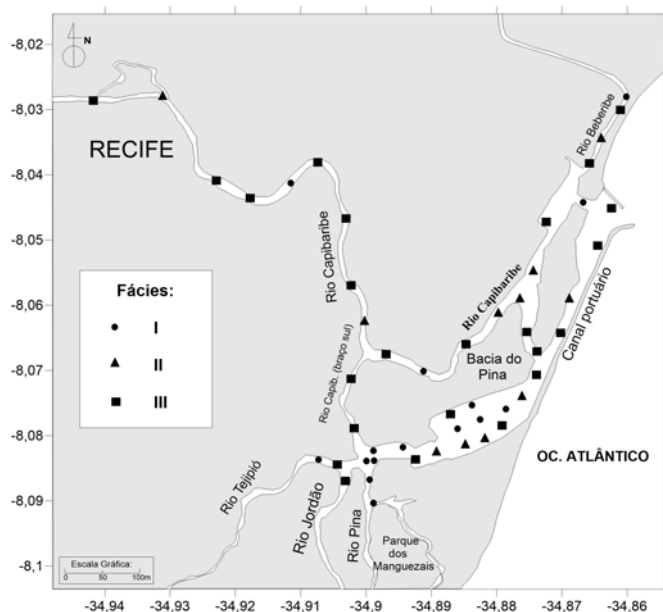


Figura 11 - Fácies sedimentares identificadas na área de estudo.

Figure 11 - Sedimentary facies identified in the study area.

O diagrama de ordenação gerado pela PCA (Figura 12) corrobora o resultado da análise de agrupamento. A primeira componente principal (PC1) responde pelos teores de areia, silte, C e NT com 49,0% da variabilidade total, e a segunda componente principal (PC2) reflete os teores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ e responde por 21,8%, somando 70,8%, de forma a deter a maior parte da informação estatística dos dados originais.

O PC1 é composto por elementos relacionados à composição granulométrica e orgânica dos sedimentos, indicando que sedimentos siltosos estão relacionados

com os teores orgânicos, regulando suas concentrações no sedimento. Os vetores de C e NT mostram-se fortemente correlacionados entre si, corroborando com as análises de correlação linear (vide Tabela 02). Enquanto que a variável areia, negativamente carregada, está disposta no eixo oposto ao vetor do percentual de silte, mais uma vez afirmando que as características granulométricas dos sedimentos influenciam a adsorção e a acumulação de conteúdos orgânicos.

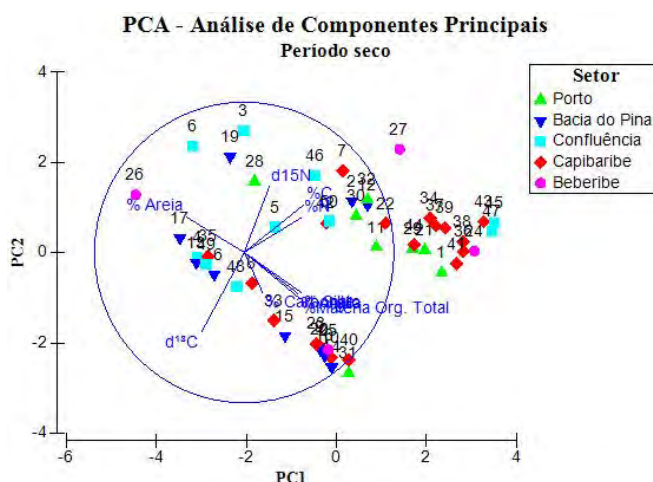


Figura 12 - Análise dos Componentes Principais (PCA) do sistema estuarino.

Figure 12 - Principal Component Analysis (PCA) of the estuarine system.

O grupo de sedimentos mais arenosos e com baixos teores orgânicos está localizado próximo ao vetor da variável areia e corresponde à fácies I (Figura 11). Outro grupo, composto por sedimentos siltosos e com os mais altos teores de C e NT, localizado próximo a esses vetores, equivale ao grupo que constitui a fácies III.

O PC2 é caracterizado pela presença da distribuição inversa entre as razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ (carregamento negativo) e $\delta^{15}\text{N}$ (carregamento positivo), indicativo de fontes distintas de matéria orgânica. Para esse componente, há a formação de um terceiro grupo, formado por amostras que não tiveram os teores elementares e as razões isotópicas analisados e que está localizado próximo aos vetores de carbonato, MOT, silte e argila; indicando presença de sedimentos finos e altos teores de MOT e carbonato. Esses sedimentos são análogos aos que compõem a fácies II.

Os resultados obtidos indicam que a calha do Rio Capibaribe, em toda a sua extensão estudada (alto a baixo estuário), apresenta, em sua maior parte, áreas que se caracterizam como de deposição de sedimentos finos e devido a baixos fluxos de energia, havendo a presença de teores orgânicos de médios a altos, de origem continental. Possui profundidades entre 0 e 4 metros, mas podendo chegar a mais de 6 metros em poucos pontos ao longo do canal; esses são locais onde

há um fluxo mais intenso de correntes e deposição de areias finas.

Na região da confluência dos rios (braço sul do Capibaribe, Tejipió, Jordão e Pina), há alternância de fluxos vindos de vários sentidos. A constrição do canal aumenta a energia hidrodinâmica do local, resultando na presença de sedimentos heterogêneos e de granulometria mais grossa, com teores orgânicos de baixos a médios, de origem marinha, continental e mista. O processo sedimentar de erosão apresenta alto potencial na baixa-mar, indicando que no local deve haver um importante fluxo de sedimentos no sentido continente-mar (Araújo *et al.*, 2011), numa área que possui profundidades máximas de 3 metros; mais baixas do que o canal principal do Rio Capibaribe.

A Bacia do Pina é a área de maior heterogeneidade relativa aos processos sedimentares do sistema estuarino, apresentando profundidades baixas em quase toda sua extensão, semelhantes à da área de confluência dos rios adjacente. A sua porção central caracteriza-se por zona de franca deposição de sedimentos arenosilticos (Coroa dos Passarinhos), constituindo, inclusive, uma feição positiva de relevo na baixa-mar, com marcada alternância do fluxo da influência das marés e aumento da energia na preamar; seus sedimentos são heterogêneos e possuem granulometria mais grossa, com baixos teores orgânicos de origem tendendo a marinha. Em suas margens, onde estão localizados os canais principais de circulação, apesar do ligeiro aumento de profundidade e presença de sedimentos pelíticos, ocorrem, no entanto, baixos teores elementares, o que configuraria o local como de passagem de sedimentos (*by pass*).

O trecho estudado do Rio Beberibe também apresenta baixas profundidades e as mesmas características das áreas onde predominam processos deposicionais dos sedimentos. As amostras dessa porção do sistema apresentam altos teores de MOT e elementares, e sua origem é continental.

Assinalando grande particularidade em relação ao restante do sistema estuarino, o canal portuário possui profundidades de 8 a 14 metros. É uma área de fluxo hidrodinâmico intenso também devido ao estreitamento do canal, tornando-se área de passagem de sedimentos com constante movimentação junto ao fundo, composto por sedimentos de granulometria fina com teores médios de C e NT elementares e matéria orgânica de origem marinha, indicados, também, pelos conteúdos mais altos de carbonatos do sistema.

4. Conclusões

+ Os sedimentos pelíticos constituem a maioria dos sedimentos modernos que adentram o sistema. A principal fonte de finos é o rio de maior porte do sistema, o Rio Capibaribe, seguido dos demais rios

(Tejipió, Jordão, Pina e Beberibe). Os sedimentos da parte terminal do sistema estuarino refletem o domínio da ação marinha, correspondendo a uma zona de energia mais elevada.

- + Os sedimentos das margens e das áreas planas de baixa profundidade com domínio de sedimentos finos (siltes e argilas) evidenciam a influência de baixa a moderada energia, devendo as correntes possuir, nesses locais, velocidades relativamente pouco elevadas. No entanto, ao longo do eixo central da Bacia do Pina, do canal portuário e em pontos de maior profundidade no Rio Capibaribe, os sedimentos são de granulometria mais grossa, o que denota existência de energia média a elevada, fazendo supor a existência de condições de correntes (fluviais e de maré) com intensidade apreciável.
- + Os teores elementares e isotópicos da matéria orgânica sedimentar observados podem ser considerados como compatíveis com os valores encontrados na literatura para outros sistemas estuarinos tropicais e subtropicais do Brasil e do globo.
- + Independentemente das diferenças na interpretação dos parâmetros indicadores da origem da matéria orgânica sedimentar, a natureza dos componentes indica que há um predomínio continental na área.
- + Os dados atuais e a comparação com os dados de trabalhos anteriores permitem concluir que o sistema é um ambiente deposicional de baixa energia submetido à forte influência de fontes terrígenas, em especial antrópicas, indicado pelos altos teores orgânicos, praticamente em sua totalidade, sendo, por isso, classificado como hipertrófico; com influência marinha em porções específicas do sistema.
- + A área comporta-se como um retentor natural de sedimentos. Caracteriza-se como um ambiente estuarino confinado, assoreado, densamente urbanizado e com aporte perene de sedimentos finos, de composição siliciclástica e com teores orgânicos altos. Essa conjunção de fatores produz um ambiente de sedimentação costeira de grande vulnerabilidade ambiental, indicado pelo índice trófico, o que se deve ao fato de todo sistema estuarino captar principalmente efluentes de esgoto doméstico e industrial sem tratamento, dentre outras fontes de poluição.
- + Por fim, a partir dos dados apresentados e das características do sistema estuarino como um todo, diante dos altos teores orgânicos e de lamas observados, é temerário para a gestão ambiental da área o processo de dragagem que vem sendo executado no estuário do Rio Capibaribe desde o início de 2013. As dragagens certamente vêm disponibilizando todo esse material orgânico depositado, além de elementos metálicos e demais

poluentes e contaminantes que também estão adsorvidos aos altos conteúdos de argilas do sistema. O mesmo é válido no caso do estuário do Beberibe, cujas condições ambientais, mais degradadas que o Capibaribe, tornam crítico qualquer processo que cause a remobilização e ressuspensão de seus sedimentos de fundo.

Agradecimentos

Os autores externam seus agradecimentos à FACEPE (Projeto: “MuGloEst”:APQ0079-1.08/11) pelo apoio à pesquisa.

Referências bibliográficas

- Aguiar Neto, A.B.; Gomes, D.F.; Freire, G.S.S. (2008) – Níveis e origem do carbonato de cálcio em sedimentos dos manguezais de Icapuí – CE, Nordeste do Brasil. *Revista de Geologia* (ISSN: 0103-2410), 21(2):135-146, Fortaleza, CE, Brasil.
- Alves, T.M.F.; Barcellos, R.L.; Flores Montes, M.J. (2013) – Distribuição do carbonato biodetrítico (CaCO₃) e da matéria orgânica total (MOT) nos sedimentos estuarinos do Rio Jaboatão (Pernambuco, Brasil). *XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA)*, Natal, RN, Brasil. (Publicado em CD-ROM).
- Araújo, A.M.; Mineiro, A.L.B.; Cantalice, J.R.B. (2011) – Estimativa do potencial de sedimentação e erosão: caso Manguezal do Pina, Recife (PE). *Engenharia Sanitária e Ambiental* (ISSN: 1809-4457), 16(2):133-140, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Bader, R.G. (1955) – Carbon and Nitrogen Relations in Surface and Subsurface Sediments. *Geochemical & Cosmochimical Acta*, 7(5/6):205-211. DOI: 10.1016/0016-7037(55)90032-6.
- Barcellos, R.L. (2005) – *Distribuição da material orgânica sedimentar atual do sistema estuarino-lagunar de Cananêia-Iguape, São Paulo*. 185p., Dissertação de Doutorado, Universidade de São Paulo, SP, Brasil. *Não publicado*.
- Barcellos, R.L.; Berbel, G.B.; Braga, E de S.; Furtado, V.V. (2005) – Distribuição e características do fósforo sedimentar no sistema estuarino-lagunar de Cananêia-Iguape, Estado de São Paulo, Brasil. *Geochimica Brasiliensis* (ISSN: 0102-9800), 19(1):022-036, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível on-line em <http://www.geobrasiliensis.org.br/ojs/index.php/geobrasiliensis/article/view/220>
- Barcellos, R.L.; Furtado, V.V. (2006) – Organic Matter Contents and Modern Sedimentation at São Sebastião Channel, São Paulo State, South-Eastern Brazil. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 0749-0208), SI39:1073-1077. Article Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/25741746>
- Barcellos, R.L.; Camargo, P.B.; Galvão, A.; Weber, R.R. (2009) – Sedimentary organic matter in cores of Cananêia-Iguape lagoonal-estuarine system, São Paulo State, Brazil. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 0749-0258), SI(56):1335-1339. Available on-line at http://e-geo.fcsh.unl.pt/ICS2009/docs/ICS2009_Volume_II/1335.1339_R.Barcellos_IC2009.pdf
- Barcellos, R.L.; Alves, T.M.F.; Flores Montes, M.J.; Camargo, P.B.; Pitanga, M.E. (2012) – Processo sedimentar atual e comportamento sazonal da matéria orgânica no sistema estuarino do Rio Jaboatão, Região Metropolitana do Recife, Estado de Pernambuco. *V Congresso Brasileiro de Oceanografia (CBO)*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (Publicado em CD-ROM).
- Betemps, G.R.; Sanches Filho, P.J. (2012) – Estudo sazonal de metais pesados no sedimento do Saco do Laranjal – Pelotas – RS. *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology* (ISSN: 1809-8401), 7(2):79-84, Sociedade Brasileira de Ecotoxicologia, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, SC, Brasil. Disponível on-line em <http://siaiweb06.univali.br/seer/index.php/eec/article/view/4024/2342>
- Boggs, S. (1995) – *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. 765p., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, U.S.A. ISBN: 0023117923.
- Bouillon, S.; Raman, A.V.; Dauby, P.; Dehairs, F. (2002) – Carbon and Nitrogen stable isotope ratios of subtidal benthic invertebrates in an estuarine mangrove ecosystem (Andhra Pradesh, India). *Estuarine, Coastal Shelf Science*, 54(5):901-913. DOI: 10.1006/ecss.2001.0864.
- Camargo, M.G. (2006) – Sysgran: Um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. *Revista Brasileira de Geociências* (ISSN: 0375-7536), 36(2):371-378, São Paulo, SP, Brasil.
- Chester, R.; Riley, J.P. (1978) – *Chemical Oceanography*. Vol. 7, 508p., Academic Press, London, U.K. ISBN: 0-12-588607-1.
- CONAMA (2012) – *Resolução nº 454, de 1º de novembro de 2012. Dispõe sobre diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional*. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Publicado no D.O.U., de 08/11/2012, Seção 1, pág. 66. Disponível on-line em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>
- CPRH (2008) – *Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco*. 96p., Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH), Recife, PE, Brasil. Disponível on-line em http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/B_Introdu%C3%A7%C3%A3o08.pdf
- Ericson, N.R.S.; Pinheiro, J.H.M.; Costa, V.P.P.A.; Cunha, Cibele P.A.; Ferreira Filho, O.L. (2005) – Proposições para o sistema de esgotamento sanitário da cidade de Toritama – Pernambuco. 19p., *XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível on-line em <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-185.pdf>
- Eschrique, S.A.; Abreu, M.W.M.; Alves, M.A.M.S.; Santos, M.L.S. (2003) – Estudos preliminares sobre os fatores que controlam a concentração dos nutrientes (silicato e fosfato), no estuário da praia do Bispo - Mosqueiro/PA. *IX Congresso Brasileiro de Geoquímica. Livro de Resumos Expandidos*, p.492-495, Belém, PA, Brasil.
- Feitosa, F.A.N., Nascimento, F.C.R., Costa, K.M.P. (1999) – Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na Bacia do Pina, Recife-PE. *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco* (ISSN: 1679-3013), 27(2):1-13, Recife, PE, Brasil.
- Folk, R.L.; Ward, W.C. (1957) – Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1):3-26. DOI: 10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D
- Gireeshkumar, T.R.; Deepulal, P.M.; Chandramohanakumar, N. (2013) – Distribution and sources of sedimentary organic matter in a tropical estuary, south west coast of India (Cochin estuary):

- A baseline study. *Marine Pollution Bulletin*, 66(1–2): 239-245. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.10.002
- Hedges, J.I.; Stern, J.H. (1984) – Carbon and nitrogen determinations in carbonate containing solids. *Limnology and Oceanography*, 29(3):657-663. DOI:10.4319/lo.1984.29.3.0657.
- Lamb, A.L.; Graham, P.W. & Leng, M.J. (2006) – 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(1-4):29-57. DOI: 10.1016/j.earscirev.2005.10.003.
- Larssonneur, C.; Bouysse, P. & Aufret, J.P. (1982) – The surficial sediments of the English Channel and its western approaches. *Sedimentology*, 29(6):851-864. DOI: 10.1111/j.1365-3091.1982.tb00088.x.
- Macedo, S.J.; Philippini da Silva, H.K.; Brayner, F.M.M.; Duarte, M.M.M.B. & BARBOSA, A.M.F. (2007) – Heavy metal concentrations in sediments of the Capibaribe river estuary in the Metropolitan Region of Recife, Pernambuco-Brazil. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 102:3. DOI: 10.2495/SDP070341.
- Mahiques, M.M.; Mishima, Y.; Rodrigues, M. (1999) – Characteristics Of The Sedimentary Organic Matter On The Inner And Middle Continental Shelf Between Guanabara Bay And São Francisco do Sul, Southeastern Brazilian Margin. *Continental Shelf Research*, 19(6):775-798. DOI: 10.1016/S0278-4343(98)00105-8.
- Marcondes, A.C.J. (2009) – *Sedimentologia e morfologia da Bacia do Pina. Recife-PE*. 89p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. Não publicado.
- Meyers, P.A. (1997) – Organic Geochemical Proxies of Paleooceanography, Paleolimnologic and Paleoclimatic Processes. *Organic Geochemistry*, 27(5-6):213-250. DOI: 10.1016/S0146-6380(97)00049-1
- Monteiro, L.H.U.; Silva, G.S.; Lima, L.L.L.; Coutinho, P.N. (2011) – Estudos hidrodinâmicos e hidroquímicos do estuário do Rio Capibaribe e Bacia do Pina, Recife- PE. *X Simpósio Brasileiro de Oceanografia*, n/p (5p.), Santos. São Paulo, Brasil. Available on-line at <http://vsbo.io.usp.br/trabs/025.pdf>
- Nascimento, F.C.R.; Muniz, K.; Feitosa, F.A.N.; Araújo, J.P.; Silva, R.M.S.; Silva, G.S.; Flores Montes, M.J. (2003) – Disponibilidade nutricional da Bacia do Pina e rio Tejiúpió (Recife- PE- Brasil) em relação aos nutrientes e biomassa primária (setembro/2000). *Tropical Oceanography* (ISSN: 1679-3013), 31(2):149-169, Recife, PE, Brasil.
- Nóbrega, A.S.C. (2011) - *Fontes de contaminação no estuário do Rio Capibaribe, Pernambuco*. 48 p., Monografia de Graduação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. Não publicado.
- Noronha, T.J.M. de; Silva, H.K.P.; Duarte, M.M.M.B. (2011) – Avaliação das Concentrações de Metais Pesados em Sedimentos do Estuário do Rio Timbó, Pernambuco - Brasil. *Arquivos de Ciências do Mar* (ISSN: 0374-5686), 44(2):70-82, Fortaleza, CE, Brasil.
- Ogrinc, N.; Fontolan, G.; Faganeli, J.; Covelli, S. (2005) – Carbon and nitrogen isotope compositions of organic matter in coastal marine sediments (the Gulf of Trieste, N Adriatic Sea): indicators of sources and preservation. *Marine Chemistry*, 95(3-4):163-181. DOI: 10.1016/j.marchem.2004.09.003
- Oliveira, I.M.V.; Barcellos, R.L.; Flores Montes, M.J.; Camargo, P.B.; Pitanga, M.E. (2013) – Processo sedimentar sazonal e origem da matéria orgânica no sistema estuarino do Rio Capibaribe, Região Metropolitana do Recife, Estado de Pernambuco. *XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA)*, Natal, RN, Brasil. (Publicado em CD-ROM).
- Passavante, J.Z.O. (2003) – Produção fitoplanctônica do estuário do Rio Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil). *X Congresso Nordestino de Ecologia*, Recife, Pernambuco, Brasil. (Publicado em CD-ROM).
- Pettijohn, F.J. (1975) – *Sedimentary Rocks*. 628p., Harper & Row, 3. ed., New York, NY, U.S.A. ISBN: 0060451912.
- Rashid, M.A. (1985) – *Geochemistry of Marine Humic Compounds*. 300p., Springer-Verlag, New York, NY, U.S.A. ISBN: 978-1-4615-7100-1.
- Ruiz-Fernández, A.C.; Hilaire-Marcel, C.; Ghaleb, B. & Soto-Jiménez, M. (2002) 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. DOI: 10.1016/S0269-7491(01)00287-1
- Saito, Y.; Nishimura, A.; Matsumoto, E. (1989). Transgressive sand sheet covering the shelf and upper slope of Sendai, Northeast Japan. *Marine Geology*, 89(3-4):245-258. DOI: 10.1016/0025-3227(89)90078-9.
- Santos, E.S.; Jennerjahn, T.; Medeiros, P.R.P.; Souza, W.F.L. de; Knoppers, B.A. (2013) – Origem da matéria orgânica sedimentar no delta-estuarino do Rio São Francisco, AL/SE - Brasil. *Geochimica Brasiliensis*, 27(1):37-48. DOI: 10.5327/Z0102-9800201300010004.
- Santos, T.G.; Bezerra-Junior, J.L.; Costa, K.M.P.; Feitosa, F.A.N. (2009) – Dinâmica da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário tropical (Bacia do Pina, Recife, PE). *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca* (ISSN: 1980-587X), 4(1):95-109, São Luis, MA, Brasil.
- Shepard, F.P. (1954) – Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal Sedimentary Petrology*, 24:151-158. DOI: 10.1306/D4269774-2B26-11D7-8648000102C1865D.
- Silva, H.K.P. da. (2010) – *Avaliação das concentrações de metais-traço e suas interações nos sedimentos e biota do Parque dos Manguezais, Região Metropolitana do Recife (RMR), Pernambuco, Brasil*. 132p., Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. Não publicado.
- Stein, R. (1991) – Accumulation of Organic Carbon in Marine Sediments. Results from the Deep Sea Drilling Project/ Ocean Drilling Program. In: Bhattacharji, S; Friedman, G. M.; Neugebauer, H. J. & Seilacher, A. (Eds.), *Lecture Notes in Earth Sciences*, pp.152-185, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York. ISBN: 3540538135.
- Suguio, K. (1973) – *Introdução à sedimentologia*. 317p., E. Blucher, São Paulo, SP, Brasil.
- Travassos, P.E.P.F.; Macedo, S.J.; Koenig, M.L. (1991/93) – Aspectos hidrológicos do estuário do rio Capibaribe (Recife-PE- Brasil). *Trabalhos Oceanográficos* (ISSN: 1679-3013), 2:9-38, Recife, PE, Brasil.
- Tyson, R.V. (1995) – *Sedimentary Organic Matter: Organic facies and palynofacies*. 615p., Chapman & Hall, London, U.K. ISBN: 978-94-010-4318-2.
- Wetzel, R.G. (1983) – *Limnology*. 860 p., Saunders College Publishing, Philadelphia, PA, U S A.
- Zocatelli, R.; Bernardes, M.C. ; Pereira, U.J. ; Marins, R.; Lacerda, L.D.; Dias, F.J.S. (2007) – Distribuição e caracterização da matéria orgânica no gradiente estuarino do Rio Jaguaribe, CE, Brasil. *XII COLACMAR*. Florianópolis, SC, Brasil. Available on-line at http://www.institutomilenioestuarios.com.br/pdfs/Paticipacao_Eventos/2_Resumos/12_Zocatelli.pdf

O artigo “Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil”, de Oliveira *et al.* (2014), tem informação de suporte disponível on-line em http://www.aprh.pt/rgci/rgci-470_Oliveira_SuplMat.pdf

This article contains supporting information online at
http://www.aprh.pt/rgci/rgci-470_Oliveira_SuplMat.pdf