



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

DIEGO DE ARRUDA XAVIER

SEDIMENTAÇÃO RECENTE DO MÉDIO E BAIXO ESTUÁRIO
DO RIO CAPIBARIBE – RECIFE – PERNAMBUCO

RECIFE /2017

DIEGO DE ARRUDA XAVIER

**SEDIMENTAÇÃO RECENTE DO MÉDIO E BAIXO ESTUÁRIO
DO RIO CAPIBARIBE – RECIFE – PERNAMBUCO**

Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal de Pernambuco para a obtenção do título de Doutor como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia (Área de Concentração: Oceanografia Abiótica).

Orientador: Prof^o Roberto Lima Barcellos, Doutor

RECIFE/2017

Catálogo na fonte

Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

X3s

Xavier, Diego de Arruda.

Sedimentação recente do médio e baixo estuário do Rio Capibaribe – Recife – Pernambuco./ Diego de Arruda Xavier - 2017.

167 folhas, il., e tabs.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2017.

Inclui Referências.

1. Oceanografia. 2. Sedimentação estuarina. 3. Granulometria.
4. Metais pesados. 5. Taxa de sedimentação. 6. Valor de referência.
I. Barcellos, Roberto Lima (Orientador). II. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-180

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sobre a presidência do (a) primeiro (a), considera o candidato **DIEGO DE ARRUDA XAVIER, APROVADO.**

Recife, 07 de fevereiro de 2017.

Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos, Orientador

Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Oceanografia

Prof. Dr. José Francisco Berrêdo Reis da Silva

Museu Paraense Emílio Goeldi – Centro de Ciências da Terra e Ecologia

Prof. Dr. José Souto Rosa Filho

Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Oceanografia

Profa. Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo

Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Oceanografia

Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso

Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Geologia

Dedico a Eva e Luê.

AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente a Deus, que iluminou o meu caminho nesta longa trajetória.

Agradecer ao meu orientador Prof. Dr. Roberto Barcellos, por ter confiado na minha capacidade para executar este grande trabalho e por ter participado desse momento importante na minha carreira profissional e acadêmica.

Ao Projeto MUGLOEST e ao Prof. Dr. Carlos Augusto Schettini.

À CAPES por ter concedido a bolsa de Doutorado.

Agradecer aos parceiros que foram essenciais neste trabalho, Prof. Dr. Elvis França e Prof. Dr. Rubens Figueira.

Agradecer aos dois pesquisadores e amigos que impulsionaram, guiaram e foram muito importantes na minha trajetória acadêmica, profissional e pessoal. Muito Obrigado, Professora Odete Silveira (*in memorian*) e Professor José Francisco Berrêdo.

Agradecer a Emarielle Coelho Pardal, pela paciência, pela companhia, pela ajuda, por estar sempre ao meu lado, e principalmente, por ter me dado uma família muito linda e duas pequenas (Eva e Luê). Amo todas vocês, incondicionalmente!!

Agradecer a família, A minha mãe Lindaura, ao meu pai Severino e a minha irmã Larissa, pelo apoio, dedicação e esforço para a concretização desta etapa, pela paciência e parceria em todos os momentos felizes ou tristes.

Agradecer a todos das famílias Arruda e Xavier, por estarem presentes nesta etapa importante e pelo acolhimento na nova cidade.

Aos Amigos que acompanharam essa trajetória, Andrea, Edu, Beta, Camilla, Luciana, Thaís, Marcos (Malandro), Raqueline, Josi, Valdimere, Antônio, Renan, Ana Paula e Adams

Por fim, a todos que fizeram parte em algum momento da conclusão desta etapa da minha carreira.

Obrigado.

O RIO E O OCEANO

Diz-se que, mesmo antes de um rio
desaguar no oceano, ele treme de medo.

O rio olha pra trás, durante toda a jornada,
vendo os cumes, as montanhas, o longo
caminho sinuoso através das florestas,
através dos povoados, e vê à sua frente um
vasto oceano.

Entrar nele nada mais é do que desaparecer
pra sempre.

Mas não há outra maneira.
O rio não pode voltar.
Ninguém pode voltar.

Voltar é impossível na existência.
Você pode apenas ir em frente.
O rio precisa arriscar-se e entrar no oceano.

E somente quando ele entra no oceano é
que o medo desaparece, porque apenas
nesse momento o rio saberá que não se trata
de desaparecer no oceano.
Mas tornar-se oceano.

Por um lado, é desaparecimento.
Por outro, renascimento.
Nós também só podemos ir em frente e
arriscar.
Vamos avançar e tornar-nos oceano!

(Autor Desconhecido)

RESUMO

O objetivo desta tese é descrever e compreender a sedimentação recente do médio e baixo estuário do rio Capibaribe por meio de parâmetros sedimentológicos, susceptibilidade e geoquímicos (porcentagem de carbonato de cálcio, conteúdos de matéria orgânica total - MOT, taxa de sedimentação, concentração de metais) associando as mudanças antrópicas ocorridas no sistema estuarino e inferir nos valores de referência para metais. Em novembro de 2012 foram recuperados dois testemunhos. O testemunho T2 (158 cm), localizado no baixo estuário, registrou taxa de sedimentação de $0,45 \text{ cm.ano}^{-1}$ e três fácies sedimentares com características diferentes. A Unidade 1 (anterior a 1812 a 1856) indicou eventos ocorridos antes da primeira grande intervenção antrópica para o baixo estuário, apresentando sedimentação estuarina e concentrações naturais de metais. A Unidade 2 (1856-1972) registrou o início das obras de ampliação do Porto do Recife, com incrementos nas porcentagens da fração areia e decréscimos nas porcentagens de lama, MOT e nas concentrações de metais. Por fim, a Unidade 3 (1972-2012) apresentou a influência antrópica no estuário, com alta sedimentação da fração fina do sedimento, MOT e registro de contaminação antrópica de chumbo, arsênio e zinco. O segundo testemunho coletado (T5 – 178 cm) registrou taxa de sedimentação de $0,52 \text{ cm.ano}^{-1}$ e quatro unidades com características sedimentares diferentes. A Unidade 1 (anterior a 1812) apresentou características de ambiente de manguezal com predominância de sedimentos finos, altas porcentagens de MOT e concentração de metais pesados provavelmente de origem natural. A Unidade 2 (1812-1937) apresentou um leve incremento nas porcentagens de areia e diminuição na fração fina, conteúdos de MOT e concentração de metais pesados. Esta característica pode estar associada aos processos de expansão urbana e da monocultura da cana de açúcar ocorrida no médio estuário do rio Capibaribe. A Unidade 3 (1937-2004) apresentou as maiores porcentagens de areia, com baixas porcentagens da fração fina, conteúdos de MOT e concentrações de metais. Esta unidade representou a intensificação dos processos de expansão urbana da cidade do Recife. A Unidade 4 (2004-2012) apresentou incrementos na sedimentação da fração fina, conteúdos da MOT e concentração de metais pesados. Esta última característica é provavelmente consequência do reflorestamento da vegetação de mangue marginal do estuário, devido aos projetos ambientais criados pela Prefeitura do Recife nos anos 2000. As diferentes unidades sedimentares registradas nos dois testemunhos podem ser reflexos das intervenções antrópicas ocorridas no estuário, tais como: desmatamento da mata atlântica, desmatamento dos manguezais, aterramentos de áreas alagadas para expansão urbana, dragagem do canal principal do estuário, ocupação desordenada do solo entre outros. O testemunho do baixo estuário registrou picos de sedimentos finos, MOT e metais pesados (4, 16 e 72 cm) reportando provavelmente eventos de chuvas intensas e inundações para o estuário do rio Capibaribe, ocorridas em 2010, 1975 e 1849. Em relação aos metais, os valores de referência para o estuário do rio Capibaribe registraram para manganês de $292,2 \text{ mg.kg}^{-1}$, ferro de 2,7%, cobalto de $10,4 \text{ mg.kg}^{-1}$, níquel de $22,2 \text{ mg.kg}^{-1}$, cobre de $60,8 \text{ mg.kg}^{-1}$, Zinco de $105,5 \text{ mg.kg}^{-1}$, arsênio de $106,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ e chumbo de $52,9 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Palavras-chave: Sedimentação estuarina. Granulometria. Metais pesados. Taxa de sedimentação. Valor de referência.

ABSTRACT

This thesis aims to describe and to comprehend the recent sedimentation of the lower and middle Capibaribe Estuary by mean of sedimentological, susceptibility and geochemistry (calcium carbonate percentages, total organic matter contents - TOM, sedimentation rate, heavy metal concentration) parameters associating the anthropic changes occurred in the estuarine system and infer in the background metal values. In November of 2012, two cores were sampled. The T2 core (158 cm) located in lower estuary registered sedimentation rate of 0.45 cm.y^{-1} and three sedimentary facies with different characteristics. The Unit 1 (before 1812 to 1856) indicates events occurred before the first anthropic intervention in the lower estuary, showing estuarine sedimentation and natural metals concentrations. Unit 2 (1856-1972) records the beginning of Recife Port building, with increasing of sandy fraction percentages and decreasing of mud, TOM and metal concentrations. Unit 3 (1972-2012) shows the anthropic influence in the estuarine system, with higher sedimentation of fine sediments and TOM, and lead, arsenic and zinc contamination from anthropic sources. The other core (T5 – 178 cm) shows sedimentation rate of 0.52 cm.y^{-1} and four units with different sedimentary characteristics. The Unit 1 (dating before 1812) showed environmental characteristics of mangrove with predominance of fine sediments, high TOM percentages and heavy metal concentrations probably of natural sources. The Unit 2 (1812-1937) showed a slight increase in sand percentages and decrease in fine fraction, TOM contents and heavy metals concentrations. These characteristics may be associated with the urban expansion processes and of monoculture of sugar cane occurred in the middle Capibaribe Estuary. The Unit 3 (1937-2004) showed the highest sand percentages of core, characterizing a unit exclusively of sand with low fine fractions percentages, TOM contents and heavy metals concentrations. This unit represented the intensification of expansion urban processes of Recife City. The Unit 4 (2004-2012) showed increases in fine fraction sedimentation, TOM contents and heavy metals concentrations. This last characteristic is probably consequence of rebirth of marginal estuarine by mangrove vegetation, due to environmental projects created by Recife Prefecture in 2000's. The different units registered in two cores may be reflex to anthropic interventions occurred in estuary as well as Atlantic Forest deforesting, mangrove deforesting, landfill of flood areas to urban expansion, dredging of main estuary channel, disorderly occupation and others. The core of lower estuary registered peaks of fine sediments, TOM and heavy metals (4, 16 and 72 cm deep) reporting probably higher rainfall and flood events occurred in the Capibaribe Estuary in 2010, 1975 and 1849. The background values to Capibaribe Estuary showed values for manganese of 292.2 mg.kg^{-1} , iron of 2.7%, cobalt of 10.4 mg.kg^{-1} , nickel of 22.2 mg.kg^{-1} , copper of 60.8 mg.kg^{-1} , zinc of 105.5 mg.kg^{-1} , arsenic of $106,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ and lead of 52.9 mg.kg^{-1} .

Keywords: Estuarine sedimentation. Grain size. Heavy metals. Sedimentation rates. Background.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de localização do estuário do Rio Capibaribe (A). 1 – Rio Capibaribe; 2 – Braço Sul do rio Capibaribe; 3 – Rio Tejipió/Jiquiá; 4 – Rio Jordão; 5 – Rio Pina; 6 – Bacia do Pina; i – Ilha de Deus; ii – Parque do Manguezais; iii – Bairro de Brasília Teimosa; iv – Cabanga Iate Clube; v - Porto do Recife.	19
Figura 2: Mapa histórico de Recife de 1626. Fonte: Museu Nacional do Rio de Janeiro.	21
Figura 3: Mapa cartográfico histórico da cidade do Recife de 1665. Museu Nacional do Rio de Janeiro.	24
Figura 4: Mapa cartográfico histórico do Recife em 1689. Museu Nacional do Rio de Janeiro.	26
Figura 5: Planta cartográfica da cidade do Recife de 1856. Museu Prefeitura do Recife.	28
Figura 6: Base cartográfica da cidade do Recife de 1908. Prefeitura do Recife.	30
Figura 7: (A) Foto aérea da Bacia do Pina em 1950 e (B) imagem de satélite do Google Earth de 2012. 1 – Braço Sul do rio Capibaribe; 2 – Rio Tejipió/Jiquiá; 3 – Rio Jordão; 4 – Ilha de Deus; 5 – Rio Pina; 6 – Brasília Teimosa; 7 - Bacia do Pina.	32
Figura 8: (A) Mapa localização do litoral de Pernambuco e (B) Geologia da Região Metropolitana do Recife.	34
Figura 9: Estratigrafia da Bacia Pernambuco (CORDOBA et al., 2007).	36
Figura 10: Estratigrafia da Bacia Paraíba (BARBOSA et al., 2003).	38
Figura 11: Comportamento entre o período chuvoso (A) e seco (B) das fácies sedimentares presente no estuário do Rio Capibaribe (OLIVEIRA, 2014).	43
Figura 12: (A) Mapa geomorfológico do litoral sul de Pernambuco e (B) Geomorfologia da Região Metropolitana do Recife.	47
Figura 13: (A) Mapa de vegetação do litoral sul de Pernambuco e (B) Vegetação da Região Metropolitana do Recife.	50
Figura 14: Gráfico com as médias anuais de precipitação durante 1961 a 2012 (cinza). As barras em preto representam os registros dos valores mensais e as barras em branco representam os valores diários de precipitação durante os eventos de cheias registradas em 1975 e 2010.	52
Figura 15: Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe. Modificado de SRHE (2010).	57
Figura 16: Fotos aéreas do rio Capibaribe (A) e da Bacia do Pina (B) em 14/06/2011. Método de testemunhagem push-core em 27/11/2012. Autor Roberto Barcellos.	63
Figura 17: Localização dos testemunhos recuperados no médio e baixo estuário do rio Capibaribe (em preto). Os testemunhos T2 e T5 foram usados para este estudo (em vermelho).	64
Figura 18: Fluxograma das atividades de laboratório.	65
Figura 19: Obtenção dos dados de susceptibilidade magnética (fotos acima) e descrição visual do testemunho com registros fotográficos (abaixo) Foto do T5. Autor Roberto Barcellos em 17/12/2012.	66

Figure 1: Map localization of Lower Capibaribe Estuary. A) Localization of core was recuperated.....	78
Figure 2: Vertical distribution of mean size, fraction sediments percentage, magnetic susceptibility (MS), calcium carbonate (CaCO ₃) and total organic matter (TOM).....	84
Figure 3: Vertical variation of metal concentrations of the sedimentary of core. Al, Fe, Mg, K and Ca are in percentages, other concentrations in mg.kg ⁻¹	86
Figure 4: Al-normalized graphics to Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn and Ca. Aluminum, iron and calcium concentrations are in percentage. Cross – unit 1; square – unit 2; and circle – unit 3.	88
Figure 5: Al-normalized graphics to Ga, As, Pb, Ti, V, Mg. Aluminum and potassium concentrations are in percentage. Cross – unit 1; square – unit 2; and circle – unit 3. ..	89
Figure 6: Graphic of Cluster analysis.	91
Figure 7: Urban space development of Recife City. Credit to José Luís da Mota Menezes.	96
Figure 8: Map of Recife City in 1771. Nacional Museum.	98
Figure 9: Recife Map in 1909; 1 – Beberibe River; 2 –Capibaribe River; 3 – Tejipló/Jiquiá River; 4 – Pina Basin; 5 – Nogueira Island; 6 – Nogueira's dike; 7 – Barreta das Jangadas; 8 – Antônio Vaz Island (modern São José neighborhood); 9 – Recife's Port. Modified from Recife Prefecture Map.....	100
Figure 10: A) Air photo at 1950 of Pina Basin and B) satellite image at 2012 of Google Earth. 1 – Capibaribe River Bayou; 2 – Tejipló River; Jordão River, 4 – De Deus' Island; 5 – Pina River; 6 – Port Gas Station area (modern Brasília Teimosa Neighborhood); 7 – Pina Basin.....	102
Figure 1: Location map of the Capbaribe Estuary and the sedimentary core.....	112
Figure 2: Vertical variation Shepard (1954) facies diagram classification, mean diameter, magnetic susceptibility, calcium carbonate and total organic matter contents.....	121
Figure 3: Vertical variation of metal concentrations in sedimentary core.	122
Figure 4: Vertical variation of enrichment factor to sedimentary core	123
Figure 5: Vertical variation of contaminant factor to sedimentary core	124
Figure 6: Poço da Panela village in 1847. The Capibaribe River margins were without mangrove vegetation. (Unknown Author).....	127
Figure 1: Localization of Capibaribe Estuary and the cores collected in middle and lower estuary.....	136
Figure 2: Al-normalized to metals records. T2 core and T5 core are represented by light grey circle and dark grey circle, respectively. To calculate of background value all samples inside 95% confidence (black circle).....	142
Figura 20: Caracterização vertical dos testemunhos coletados no Estuário do rio Capibaribe. Testemunho do médio estuário registrando quatro unidades e do baixo estuário com três unidades.....	146
Figura 21: Modificação do baixo estuário do rio Capibaribe. (A) fotografia aérea em 1950 e (B) imagem de satélite Google Earth 2012.....	150

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores obtidos e certificados para os elementos químicos e suas respectivas incertezas analíticas expandidas (95% de confiança)* para as análises pela fluorescência de raios-X por energia dispersiva – EDXRF. Modificado de Almeida et al. (2012).	69
Tabela 2: Tabela de classificação dos valores do Fator de Enriquecimento (BIRCH; OLMOS, 2008).....	71
Tabela 3: Classificação de Fator de Contaminação (SATAPATHY; PANDA, 2015). .	72
Tabela 4: Classificação dos valores de Índice de Geoacumulação (MÜLLER, 1969). .	72
Tabela 5: Tabela com os valores médios para todos os parâmetros analisados. SM – susceptibilidade magnética; CaCO ₃ – carbonato de cálcio; MOT – matéria orgânica total; DM – diâmetro médio (phi).....	147
Table 1: Information Value (I.V) and Confidence Interval (C.I) for reference samples SRM 2709 and IAEA Soil 7 (mg.kg ⁻¹).....	82
Table 2: Minimum, maximum and average values for each unit registered in core of lower Capibaribe Estuary. Magnetic susceptibility (MS) in 10 ⁻⁵ SI; calcium carbonate (CaCO ₃), total organic matter (OM), Sand, silt and clay in percentage; mean diameter (MD) in phi (φ).	83
Table 3: Geochemistry characteristics of Units show in sedimentary core and Earth geochemical background.	85
Table 4: Cluster classification of units present in sedimentary core. SM – Magnetic susceptibility; CaCO ₃ – calcium carbonate; TOM – total organic matter. **isolated samples.	92
Table 5: Pearson correlations to Group 1 between all parameters according the cluster classification. MS – magnetic susceptibility; CaCO ₃ – calcium carbonate; TOM – total organic matter and Gr – gravel.	93
Table 6: Pearson correlations to Group 2 between all parameters according the cluster classification. MS – magnetic susceptibility; CaCO ₃ – calcium carbonate; TOM – total organic matter and Gr – gravel.....	94
Table 1: Information Value (I.V) and Confidence Interval (C.I) for reference samples SRM 2709 and IAEA Soil 7 (mg.kg ⁻¹).....	116
Table 2: Average concentrations of parameters analyzed to core of middleCapibaribe Estuary. SM – Susceptibility Magnetic; CaCO ₃ – calcium carbonate; TOM – Total Organic Matter.....	119
Table 3: Pearson correlation values registered to all parameter analyzed to sedimentary core.	130
Table 1: Metal concentration values for two cores of Capibaribe Estuary.	141
Table 2: Background values of heavy metals for this study in Capibaribe Estuary.....	143
Table 3: Enrichment Factor (EF), Contamination Factor (CF) and Geochemical Index (Igeo) values for the two cores.	143

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral.....	17
2.2	Objetivos específicos.....	17
3	HIPÓTESE	18
4	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA	19
4.1	Área de estudo.....	19
4.2	Histórico de ocupação do Recife.....	20
5	GEOLOGIA.....	33
5.1	Bacia Pernambuco	35
5.2	Bacia Paraíba	37
5.3	Terciário e Quaternário	39
5.4	Padrão sedimentar do Estuário do rio Capibaribe	42
6	GEOMORFOLOGIA	44
7	VEGETAÇÃO.....	48
8	CLIMA	51
8.1	Histórico de Inundações da Região Metropolitana do Recife	52
9	PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS	54
9.1	Marés	54
9.1.1	Correntes de Marés	54
9.2	Salinidade	55
10	HIDROGRAFIA.....	56
10.1	Rio Capibaribe.....	56
10.2	Rio Tejipió/Jiquiá	59
10.3	Rio Jordão	59
10.4	Rio Pina.....	60
10.5	Bacia do Pina.....	60
11	MATERIAIS E MÉTODOS	62
11.1	Etapa de campo	62
11.2	Etapa de laboratório.....	65
11.2.1	Susceptibilidade Magnética	65

11.2.2	Quantificação dos teores de carbonato de cálcio e matéria orgânica total	66
11.2.3	Análise granulométrica	67
11.2.4	Taxa de sedimentação	67
11.2.5	Metais pesados	67
12	A 200-YEARS RECORD OF SEDIMENTATION IN THE CAPIBARIBE ESTUARY-PE, BRAZIL	73
12.2	Introduction	74
12.3	Material and methods	77
12.3.1	Study Area	77
12.3.2	Methods	80
12.4	Results	83
12.5	Discussion	95
12.6	Conclusions	107
13	CHANGES OF ESTUARINE SEDIMENTATION PATTERNS BY URBAN EXPANSION: THE CASE OF MIDDLE CAPIBARIBE ESTUARY, NORTHEASTERN BRAZIL	109
13.2	Introduction	110
13.3	Material and methods	112
13.3.1	Study Area	112
13.3.2	Methods	114
13.4	Results	118
13.5	Discussion	125
13.6	Conclusions	131
14	DETERMINATION OF BACKGROUND VALUES IN A TROPICAL ESTUARINE SYSTEM IN NORTHEASTERN BRAZIL	133
15	INTEGRAÇÃO DOS DADOS	145
16	CONCLUSÕES	153
	REFERÊNCIAS	156

1 INTRODUÇÃO

A região costeira é um ecossistema frágil por estar localizado na interface continente-oceano, onde os processos físicos, químicos, biológicos e geológicos atuam de formas interdependentes na forma e na dinâmica. A morfologia e a sedimentação nestes ambientes, em escala global, são controladas pelas oscilações do nível do mar e pela tectônica global. Em níveis regionais, o balanço entre os processos meteorológicos, oceanográficos e sedimentares são responsáveis pelas alterações nestes ecossistemas (PERILLO, 1995; ELLIOTT et al., 2002; KNIGHT; FITZGERALD, 2005). Além das influências naturais, a zona costeira abriga cerca de 70% da população mundial, esse índice populacional é um fator determinante na modificação dos padrões sedimentares e da morfologia da linha de costa (ZOURARAH et al., 2007).

Os ecossistemas presentes na zona costeira vêm sendo modificadas desde o início da colonização. As cidades brasileiras desenvolveram-se no litoral por causa da exploração dos recursos naturais e escoamento das riquezas pelos colonizadores portugueses. A intensificação dos processos urbanos na costa brasileira ocorre a partir do início do século XX, com o aumento populacional nas cidades litorâneas (BRITO; SOUZA, 2005). Esta intensificação gera mudanças ambientais nos ecossistemas da zona costeira como introdução de nutrientes, alteração e destruição de habitats, alteração no padrão de sedimentação, exploração dos recursos naturais, poluição industrial e doméstica, aterramento, interferências na linha de costa (ZOURARAH et al., 2007).

O estuário do Rio Capibaribe vem sofrendo com os processos de urbanização desde o início da colonização (PONTUAL, 2001). Atualmente este estuário está susceptível a diferentes ações antrópicas como carcinicultura, despejos de dejetos urbanos e industriais, dragagem, intensificação e ocupação desordenada na planície costeira,

desmatamento das áreas marginais, poluição/contaminação por metais pesados, aterramentos e assoreamento generalizado (MACEDO et al., 2007; SILVA; MACEDO; BRAYNER, 2010).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Analisar a sedimentação recente do médio e baixo estuário do rio Capibaribe, identificando possíveis associações relacionadas a mudanças antrópicas ocorridas em um sistema estuarino densamente urbanizado.

2.2 Objetivos específicos

- Descrever e compreender por meio dos parâmetros sedimentológicos e geoquímicos a evolução sedimentar recente do médio e baixo estuário do rio Capibaribe-PE, associando-os às possíveis modificações antrópicas históricas e aos aportes naturais;
- Determinar os valores de referência dos metais para o sistema estuarino do rio Capibaribe;
- Identificar depósitos sedimentares associados a eventos de cheias, resultados de episódios de chuvas intensas históricas ocorridas na Região Metropolitana do Recife.

3 HIPÓTESE

O estuário do rio Capibaribe vem passando por alterações no meio físico desde o início da colonização, magnificados ao longo dos anos pela intensificação dos processos de urbanização. Em se partindo desse pressuposto é possível afirmar que a intensificação da urbanização poderia modificar os padrões de sedimentação em um ambiente deposicional estuarino associado, sendo possível associar essas mudanças no padrão de sedimentação com o histórico de urbanização da cidade do Recife.

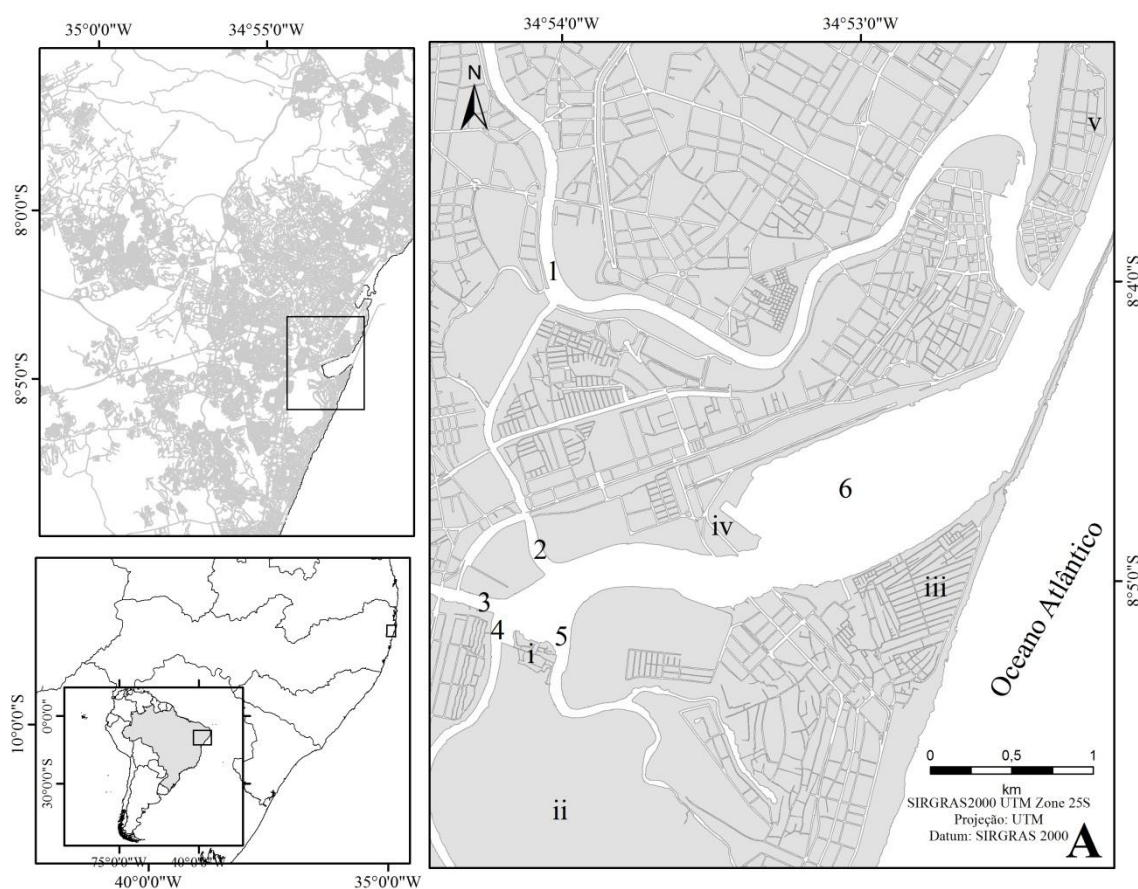
Além dos processos de evolução urbana, a cidade do Região Metropolitana do Recife experimentou alguns episódios de cheias ocasionadas por chuvas intensas. Dependendo da magnitude desses episódios é possível identificar esses eventos em testemunhos sedimentares coletados no estuário do rio Capibaribe.

4 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

4.1 Área de estudo

O Estuário do rio Capibaribe está localizado em zona urbana da cidade do Recife, formado pelos rios Capibaribe e seu braço sul, Tejipió, Jordão e Pina (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 1: Mapa de localização do estuário do Rio Capibaribe (A). 1 – Rio Capibaribe; 2 – Braço Sul do rio Capibaribe; 3 – Rio Tejipió/Jiquiá; 4 – Rio Jordão; 5 – Rio Pina; 6 – Bacia do Pina; i – Ilha de Deus; ii – Parque do Manguezais; iii – Bairro de Brasília Teimosa; iv – Cabanga Iate Clube; v - Porto do Recife.



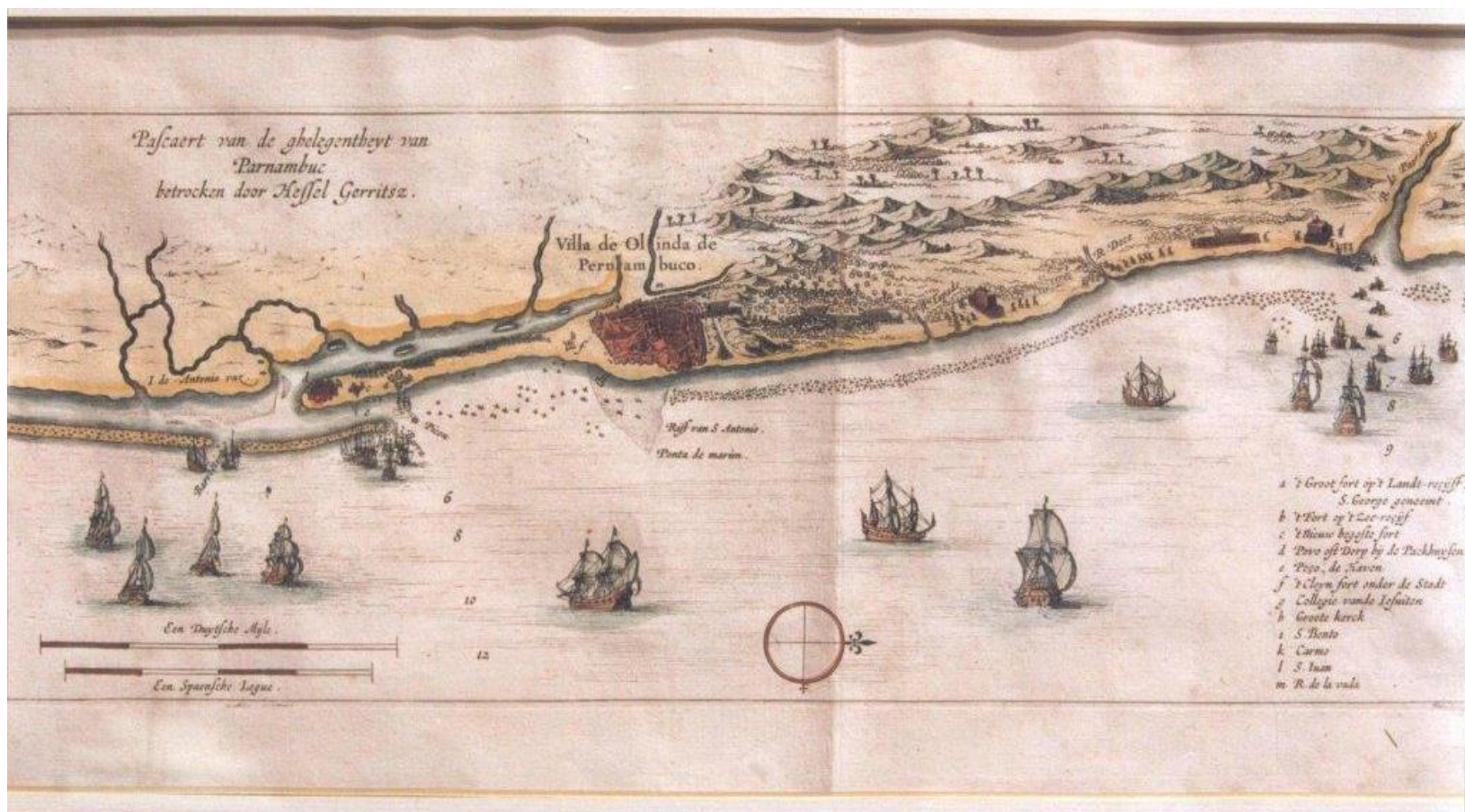
Fonte o Autor (2017)

A Região Metropolitana do Recife (RMR) é uma das três maiores aglomerações urbanas da região nordeste brasileiro, com uma população aproximadamente 3,7 milhões de habitantes (IBGE, 2010; OLIVEIRA et al., 2014).

4.2 Histórico de ocupação do Recife

O processo de colonização da capitania de Pernambuco iniciou-se nas primeiras décadas do século XVI. A região metropolitana desta época era formada pelas capitanias de Itamaracá e de Pernambuco (VASCONCELOS; SÁ, 2011). Em 1537, a sede da capitania de Pernambuco foi instalada por Duarte Coelho em Olinda, esta nova sede apresentava condições geográficas privilegiadas para a construção de um porto abrigado. A presença de uma linha de arrecifes próxima da costa foi de fundamental importância para instalação de um porto distante ao sul cerca de uma légua ($\approx 4,8$ km) de Olinda. O acesso ao porto era feito por duas entradas, uma ao norte (A) (canal principal do rio Capibaribe) e outra localizada mais ao sul chamada Barreta das Jangadas (B) (Figura 2).

Figura 2: Mapa histórico de Recife de 1626.



Fonte: Museu Nacional do Rio de Janeiro.

Um istmo ligava o porto à sede da Capitania (chamado na época de lingueta de areia) e esta península apresentava condições favoráveis para a instalação de um povoado, no início do século XVI (1537). Este povoado era composto por pequenas moradias de trabalhadores portuários, e por grandes armazéns que estocavam a produção de açúcar. O istmo nem sempre apresentava condições que facilitavam o transporte entre a sede e o porto. Em alguns momentos pela força do mar, o istmo se rompia e o transporte das mercadorias era feita por barcos de baixo calado pelo rio Beberibe, do porto até Olinda (VASCONCELOS; SÁ, 2011).

Ao longo das margens do rio Beberibe apresentavam bosques de manguezais e ilhotas fluviais (MENZES, 1991). Na porção mais interna predominava a vegetação da Mata Atlântica. Ao sul do porto localizava-se o maior rio da região chamado de Capibaribe, a oeste outra grande ilha chamada por Antônio Vaz de “Boa Vista” que se delimitava por um braço do rio Capibaribe do continente, atualmente conhecido como canal do Derby. Na parte sul da região, os rios Capibaribe, Jordão, Tejipió, Jiquiá e Pina desembocavam formando um imenso estuário com suas ilhotas, atualmente conhecido como Bacia do Pina. Adjacente a esse estuário (Bacia do Pina) existia uma longa extensão de terra seca, formando uma praia próximo aos arrecifes. Entre os rios Capibaribe e Tejipió existia uma planície de terras baixas, parcialmente alagáveis nos invernos mais intensos, formado possivelmente por terras transportadas pelos rios mencionados.

Com a fundação da vila e do povoado foram instalados os primeiros engenhos de açúcar no início do XVII, aproveitando essencialmente as terras acima das cotas das grandes marés e mais a salvo das cheias dos rios. Como a cultura da cana-de-açúcar era rudimentar os engenhos eram instalados em áreas de várzea dos rios Capibaribe e Beberibe, estes locais apresentavam terras planas e ricas em formação massapê. Desta maneira, os rios Capibaribe e Beberibe se firmaram como as principais hidrovias para o

escoamento da produção dos derivados da cana até o porto (VASCONCELOS; SÁ, 2011).

Em 1630, os holandeses chegam às terras pernambucanas e o seu principal objetivo foi diminuir a capacidade econômica da monarquia ibérica e incrementar seu domínio nas rotas comerciais do Atlântico (PÉREZ; SOUZA, 2006). O período de permanência dos holandeses em Recife (de 1630 a 1654) foi marcado por grandes transformações do espaço físico da cidade, com obras de expansão urbana por meio de aterramentos das áreas de mangue e de várzea, construção de pontes que interligaram as ilhas, camboas drenadas e a partir deste momento Recife passou ser reconhecida como a capital de Pernambuco. Em 1637, o conde alemão João Maurício de Nassau chegou à cidade do Recife, trazendo junto às primeiras melhorias para a área portuária e o primeiro plano urbanístico da cidade. Estas construções realizadas por Nassau seguiam os moldes norte-europeus.

Em 1644 foram construídas duas pontes que interligariam a Ilha de Antônio Vaz (atual bairro de Santo Antônio e parte do bairro de São José) com o istmo e a ponte da Boa Vista que interligaria a ilha de Antônio Vaz ao continente. Segundo Barreto (1994) e Vasconcelos e Sá (2011) a área central da Ilha de Antônio Vaz foi bastante modificada, com a construção de camboas e canais, as áreas alagadas e encharcadas foram aterradas para incorporar novos espaços à expansão urbana, obras de saneamento e arborização da ilha. O material de aterro para a ampliação de terra firme era fornecido por meio do material dragado das aberturas de canais (Figura 3).

Figura 3: Mapa cartográfico histórico da cidade do Recife de 1665



Fonte: Museu Nacional do Rio de Janeiro.

No início do século XVIII, a cidade do Recife já se apresentava bem consolidada e começava o processo de expansão urbana de forma tentacular, partindo do centro para o interior do continente acompanhando as vias de circulação e obedecendo aos condicionantes topográficos, hidrográficos, hidrovias e ferrovias (PONTUAL, 2001) (Figura 4).

Figura 4: Mapa cartográfico histórico do Recife em 1689.



Fonte: Museu Nacional do Rio de Janeiro.

O século XIX foi marcado por um grande desenvolvimento na cidade, com a intensificação nas obras de expansão do centro urbano como a ampliação das ilhas de Antônio Vaz através de obras de aterramento das ruas da Palma, Cais do Apolo, da Boa vista, rua da Aurora, rua imperial e a ampliação do bairro de Afogados. A população da cidade do Recife vinha aumentando ao longo do século XIX. Em 1810, cerca de 30 mil habitantes residiam na cidade e no ano de 1850 aproximadamente 70 mil habitantes residiam no Recife. Este crescimento populacional foi determinante para aquisição de áreas para construção de novas moradias (BARRETO, 1994; PONTUAL, 2001) (Figura 5).

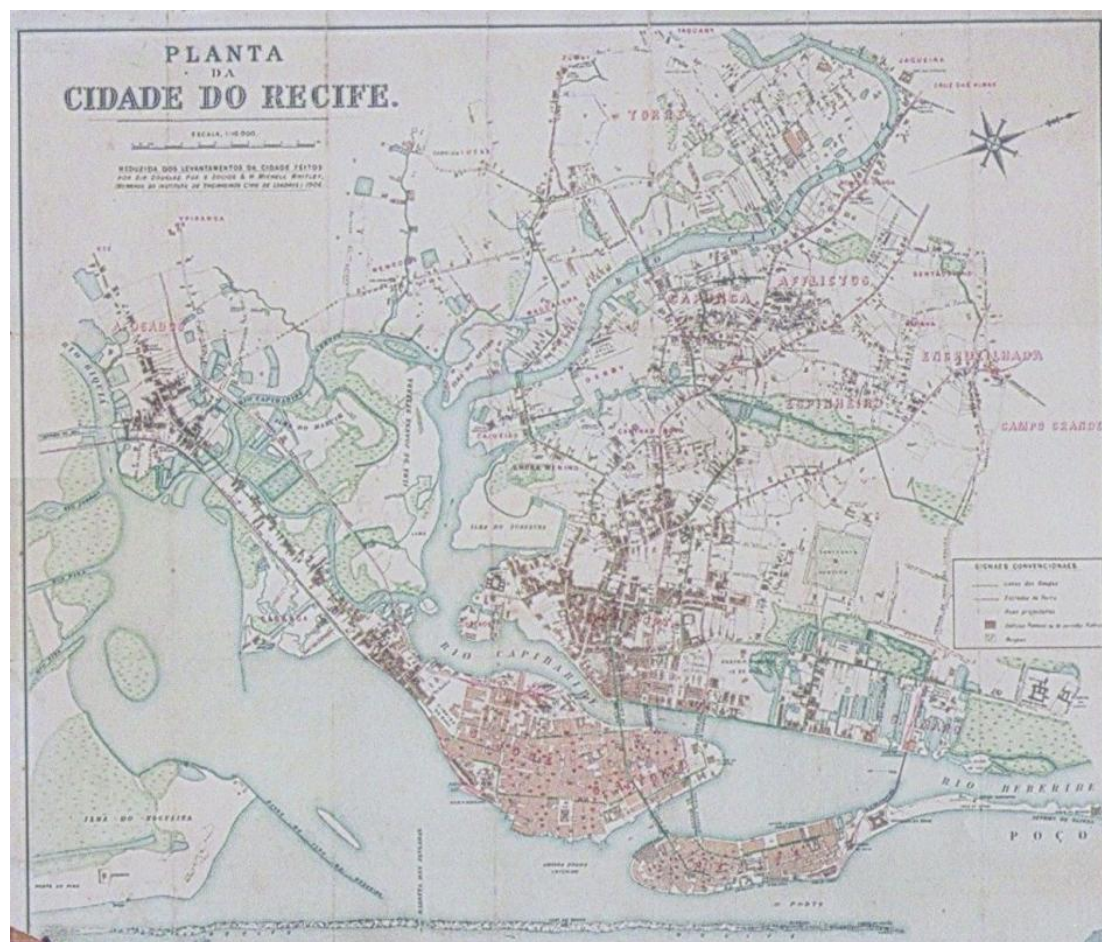
Figura 5: Planta cartográfica da cidade do Recife de 1856.



Fonte: Museu Prefeitura do Recife.

As primeiras intervenções físicas, principalmente no porto do Recife e na Bacia do Pina, ocorrem no início do século XIX. A primeira obra de melhoramento do Porto do Recife foi a construção do dique do Nogueira em 1849. Esta obra tinha como intuito diminuir a entrada de sedimentos arenosos na calha principal do porto. A partir de 1900 foram realizadas outras obras na área portuária como a construção total de um dique acima do arenito de praia que protegia o porto. Esta construção findou em 1910 e se estendia da ponta do farol até a ilha do Nogueira. Entretanto, as obras de ampliação do Porto do Recife perduraram durante a década de 30 do século XX. A primeira intervenção antrópica realizada na Bacia do Pina ocorreu em 1934, onde foi realizada uma dragagem no banco de areia chamado Coroa do Passarinhos para aprofundamento desta área. Esse material dragado foi utilizado como material de aterro, sendo despejado na área triangular em que se formava entre o dique construído em 1910 com o dique do Nogueira. Esta área seria utilizada como um parque de combustíveis para o Porto do Recife (Figura 6).

Figura 6: Base cartográfica da cidade do Recife de 1908.



Fonte: Prefeitura do Recife.

A partir do século XX, Recife tornava-se uma cidade com grandes atrativos, principalmente para imigrantes do interior do estado, com a intensificação da industrialização e a desarticulação dos antigos sistemas de produção rural. O crescimento populacional da cidade do Recife atingiu a marca de 46% entre os anos de 1920 e 1940 (VASCONCELOS; SÁ, 2011). A maior concentração urbana se localizava as margens do rio Capibaribe, indo em direção aos bairros entorno do Derby. Esse crescimento ocorreu de forma desordenada e acelerada, ocasionando impactos antrópicos como aterramento das áreas de mangue, alagados, várzeas e leitos dos rios ou mesmo desmatando a Mata Atlântica dos morros que circundam a cidade. A área do Areial Novo foi palco de um dos mais intensos eventos de ocupação na história do uso e urbanização da cidade do Recife (BARRETO, 1994).

Esta área pertencia ao Porto do Recife era destinada à construção de um parque de combustíveis. Entretanto, em meados da década de 50 do século XX o interior do estado de Pernambuco passava por um longo período de seca e foi um dos motivos que intensificou a migração da população que residia no sertão para a capital. Essa migração acelerou o processo de ocupação urbana desordenada do Recife, principalmente no Pina. Este contingente populacional passou a ocupar a área do Areial Novo a partir de 1958 e originou o bairro de Brasília Teimosa (PEREIRA, 2008) (Figura 7).

Figura 7: (A) Foto aérea da Bacia do Pina em 1950 e (B) imagem de satélite do Google Earth de 2012. 1 – Braço Sul do rio Capibaribe; 2 – Rio Tejipió/Jiquiá; 3 – Rio Jordão; 4 – Ilha de Deus; 5 – Rio Pina; 6 – Brasília Teimosa; 7 - Bacia do Pina.



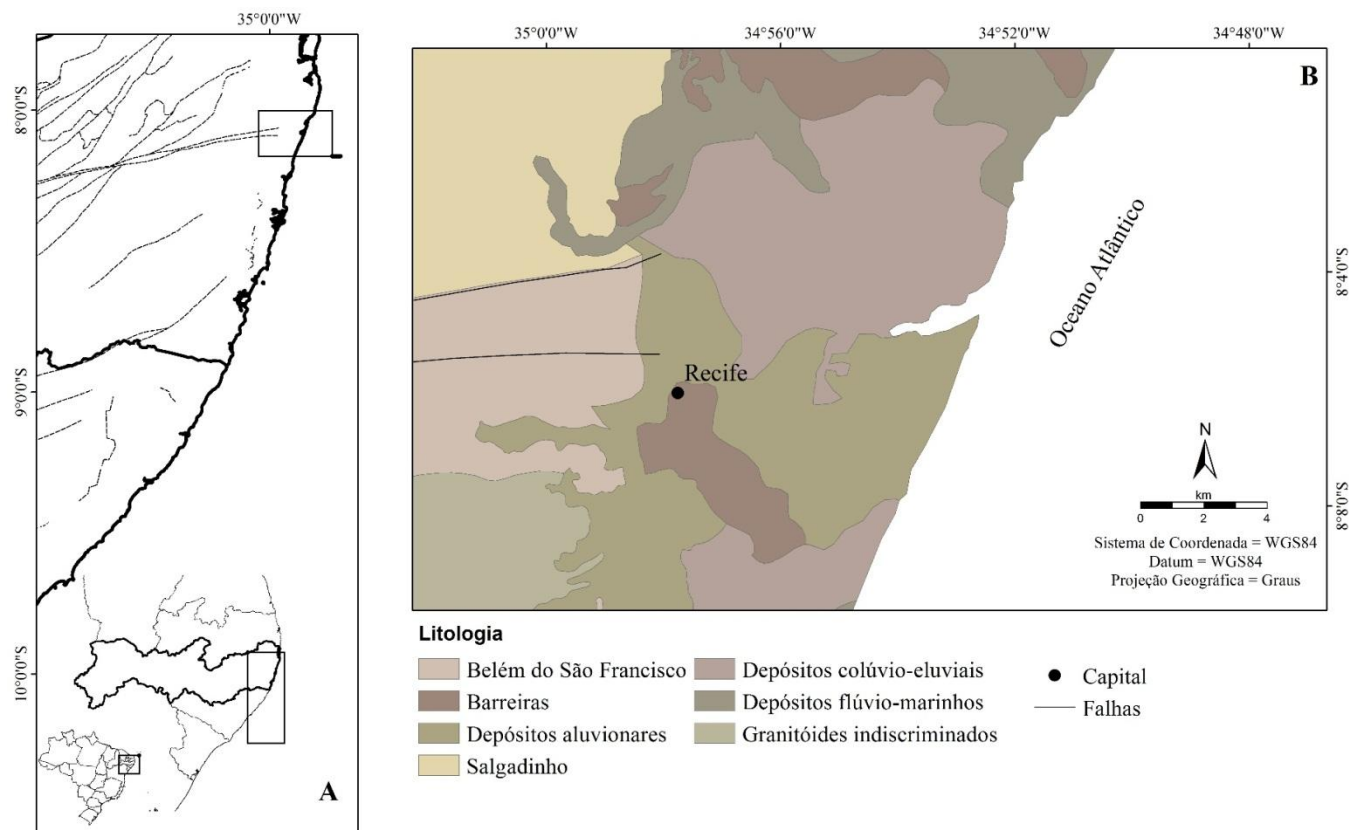
Fonte: Google Earth e CONDEPE/FIDEM

5 GEOLOGIA

O litoral pernambucano está inserido entre duas bacias sedimentares, a Bacia Pernambuco e a Bacia Paraíba, sua faixa costeira é constituída geralmente por relevos de tabuleiros interrompidos por planícies que penetram 15 km, continente adentro com largura delimitada por 10 km (LIMA FILHO, 1998). A formação destas bacias está relacionada com eventos geotectônicos durante o Aptiano, onde ocorreram movimentos divergentes entre as placas africana e sul-americana ocasionando mudanças na tipologia de movimentação das placas, passando de movimentos transcorrentes para extensional (MAI, 2009).

Estas bacias são compostas pelo embasamento cristalino, a Província da Borborema, constituída por rochas graníticas, magmáticas e gnássicas de idade pré-cambriana (MENDES, 2000) e por bacias sedimentares cretáceas e depósitos Terciários e Quaternários (ALHEIROS; LIMA FILHO, 1991) (Figura 8).

Figura 8: (A) Mapa localização do litoral de Pernambuco e (B) Geologia da Região Metropolitana do Recife.



Fonte: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

5.1 Bacia Pernambuco

A Bacia Sedimentar Pernambuco está inserida na faixa costeira sul do Estado de Pernambuco, limitando-se ao norte pelo município de Recife e ao sul pelo município de São José da Coroa Grande. A bacia ocupa toda a faixa costeira sul do estado e possui uma forma alongada em direção N40E, com extensão de 80 km e largura de 12 km na porção emersa (LIMA FILHO, 1998).

A Bacia Pernambuco apresenta três formações. A Formação Cabo que abrange toda a borda oeste da Bacia Pernambuco, limitada pelo embasamento cristalino. Esta Formação corresponde à fase rift-continental é composta por rochas graníticas, gnaisses, pegmatitos, milontos, migmatitos e conglomerados polimíticos, com seixos, blocos, matacões e calhaus podendo atingir até 2 metros de diâmetro (ALHEIROS, 1987; KEGEL, 1959; LIMA FILHO, 1998).

A Formação Estiva, localizada acima da Formação Cabo, estende-se pela faixa costeira sul de Pernambuco. Esta formação de caráter marinha rasa apresenta calcários maciços, finamente cristalizados, fossilíferos por vezes com intercalações argilosas (ALHEIROS; LIMA FILHO, 1991; LIMA FILHO, 1998).

Acima da Formação Estiva encontra-se a Formação Algoduais. Esta formação está localizada ao sul do Recife e principalmente nas proximidades do Cabo de Santo Agostinho, possui maior quantidade de argila (caulim) (KEGEL, 1959). Esta Formação é caracterizada como um pacote de arenito friável, maciço de cor avermelhada (ROCHA, 1990). O Membro Algoduais passou à categoria formação por não apresentares nenhuma relação com a Formação Cabo (LIMA FILHO, 1998) (Figura 9).

5.2 Bacia Paraíba

A Bacia Paraíba abrange a faixa sedimentar costeira desde o Lineamento Pernambuco, nas proximidades da cidade de Recife, até o alto estrutural de Mamanguape ao norte de João Pessoa (BARBOSA et al., 2003). O preenchimento sedimentar da Bacia Paraíba iniciou durante o Santoniano com a Formação Beberibe, composta por arenitos continentais médios a grossos variando até arenitos conglomeráticos de ambientes flúvio lacustres (BEURLÉN, 1967a, 1967b).

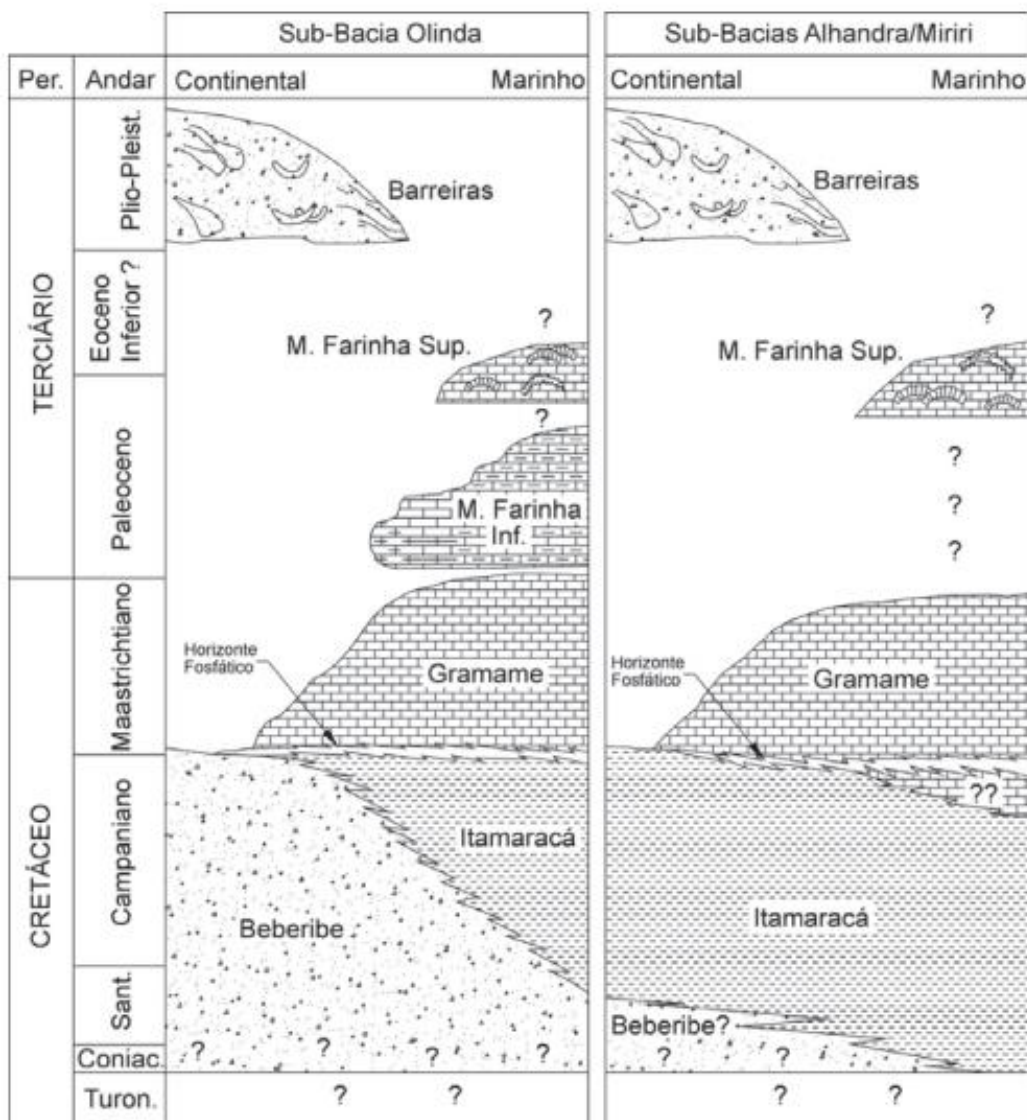
Durante o Campidiano ocorreu a Formação Itamaracá, localizada acima da Formação Beberibe, apresentando características de uma unidade de transição para a fase marinha. Essa unidade é representada por depósitos costeiros de estuários e lagoas, contendo fósseis de ambiente marinho salobro. Esta unidade apresenta níveis de fosfato sedimentar localizados no topo e é composta por depósitos de arenitos carbonáticos, folhelhos e carbonatos com siliciclastos ricos em material fossilíferos (KEGEL, 1959; BARBOSA et al., 2003).

Sobre a unidade Itamaracá está a Formação Gramame, representada por calcários e margas depositados em uma plataforma carbonática não muito profunda entre 100 a 150 m. Esta formação é a primeira unidade carbonática do domínio marinho, provavelmente, depositada a partir do final do Campaniano, pois as camadas dessa formação começam sempre acima dos últimos níveis de fosfato, e prosseguem durante todo o Maastrichtiano (BARBOSA et al., 2003).

Acima da Formação Gramame registra-se os depósitos do Paleoceno chamado Formação Maria Farinha. Esta unidade estratigráfica apresenta um registro um pouco complexo, devido à sua deposição ter ocorrido durante um evento regressivo na bacia a partir do final do Maastrichtiano. Os depósitos dessa unidade incluem calcários, calcários

margosos e espessos níveis de marga na porção inferior, e calcários dolomíticos detríticos, contendo fauna fóssil de recifes e lagoas recifais na porção superior (BEURLIN, 1967b; BARBOSA et al., 2003) (Figura 10).

Figura 10: Estratigrafia da Bacia Paraíba.



Fonte: BARBOSA et al. (2003).

5.3 Terciário e Quaternário

Sobre a Formação Estiva e a Formação Gramame encontram-se os depósitos do Terciário da Formação Barreiras, que recobrem a Província Borborema e as bacias sedimentares cretáceas. Esta formação é constituída de sedimentos arenosos, com idade no Plioceno a Pleistoceno, de origem fluvial ocorrendo intercalações entre camadas de areias e argilas. Essas intercalações foram decorrentes dos fluxos de detritos por enxurradas sucessivas (SILVA, 2003).

Os depósitos do Quaternário estão localizados basicamente na planície costeira. A evolução dessa planície está diretamente relacionada às variações do nível do mar que ocorreram durante o Quaternário, essas variações estão relacionadas com a penúltima (120.000 anos A.P) e última transgressão marinha (5.100 anos A.P) (BITTENCOURT et al., 1979). Os depósitos do Quaternário são formados pelos Terraços Marinheiros Pleistocênicos, Terraços Marinheiros Pleistocênicos Modificados, Terraços Marinheiros Holocênicos, Recifes de Arenitos, Depósitos de Praias Atuais, Depósitos Fluvio-Lagunares e os Depósitos de Mangues.

Os Terraços Pleistocênicos são caracterizados como porções de terrenos, normalmente paralelas à linha de costa, onde possuem um topo aplainado e um rebordo abrupto que se mantém livre das investidas do mar, permanecendo enxutas mesmo durante as marés mais altas (DOMINGUEZ et al., 1990). São depósitos sedimentares de origem marinhas situadas acima do nível médio do mar (GUERRA, 2009).

Os Terraços Marinheiros Pleistocênicos e os Terraços Marinheiros Holocênicos compõem o conjunto de terraços arenosos marinheiros, porém apresentam características sedimentológicas e geomorfológicas diferentes (GUERRA, 2009).

Os Terraços Marinhos Pleistocênicos representam uma antiga linha de praia (cerca de 100.000 anos A.P) associadas a penúltima transgressão marinha. São formados por areias quartzosas de coloração clara e inconsolidadas em superfície, apresentando-se mais escuras e compactadas em maiores profundidades ocasionada pela cimentação das areias pelo ácido húmico e óxido de ferro (SILVA, 2003; QUINAMO, 2013). Em relação à geomorfologia são unidades com características aplainadas apresentando cotas altimétricas entre 7 a 10 metros.

Os Terraços Marinhos Pleistocênicos Modificados são antigas praias pleistocênicas intensamente modificadas pela ação fluvial, apresentando características extremamente irregulares em subsuperfície. São compostos por sedimentos arenosos retrabalhados, depósitos de argila plástica, orgânica, sedimentadas em antigas planícies fluviais de inundação.

Os Terraços Marinhos Holocênicos têm sua origem relacionada à última transgressão marinha (5.100 anos A.P) (BITTENCOURT et al., 1979). Ocupam a porção externa da planície costeira, de forma alongada, continua, paralelo a linha de costa com largura média de 1 km (MUEHE, 2006). Esses Terraços são compostos por areia quartzosas, de granulação média podendo ocorrer presença de conchas de moluscos bem conservados. Morfologicamente são unidades bem regulares com geometria regular e apresentam cotas altimétricas variando de 3 a 5 metros (SILVA, 2003; QUINAMO, 2013).

Os recifes de arenitos são rochas de praia, também conhecidas como *beachrocks*. Essas rochas são formadas a partir da litificação de sedimentos e que parecem refletir a composição dos sedimentos das praias onde ocorreram (GUERRA, 2009). A origem desses recifes de arenitos está relacionada às flutuações do nível do mar durante a última

transgressão e regressão marinha subsequente. Essas formações rochosas são importantes para o litoral pernambucano por executarem um papel importante na morfologia atual da região, funcionando como protetores naturais contra processos erosivos causados por vagas e ondulações (MENDES, 2000).

Os Depósitos de Praias Atuais constituem a atual zona de praia representada pela porção mais externa da planície costeira. São constituídos de depósitos de areias quartzosas, minerais pesados e fragmentos de conchas calcárias, geralmente depositados entre a linha de baixa-mar e os terraços holocênicos (QUINAMO, 2013).

Os Depósitos Flúvio-Lagunares estão localizados na porção limitada entre a planície costeira e os terraços fluviais e marinhos, formados pelo afogamento da região durante a última transgressão marinha e regressão subsequente, abandonados em depressões existentes submetidos aos efeitos das ações fluviais e de correntes de maré. São constituídos de sedimentos aluvionares, lagunares, deltaicos e estuarinos, com características arenosas nos canais fluviais e sedimentos argilosos com matéria orgânica nas planícies de inundação, podendo apresentar intercalações de camadas associadas as transgressões e regressões marinhas (ALHEIROS; FERREIRA; LIMA FILHO, 1995).

Os Depósitos de Mangue são encontrados normalmente em zonas da planície costeira inferiores, protegidas das ações das ondas, geralmente encontradas nas margens de canais de marés e nas porções distais de vales de rios e riachos, em área de transição entre o continente e o oceano (ALHEIROS; FERREIRA; LIMA FILHO, 1995; BARROS, 2003). São áreas com características geológicas e biológicas específicas, destacada pela sua importância ambiental e serem constituintes de um frágil ecossistema (SCHAEFFER NOVELLI, 1999). São compostos por sedimentos siltico-argilosos ricos em matéria orgânica, de coloração cinza escuro a preto. Apresentam gradientes

granulométricos, onde as partículas mais grossas estão localizadas no fundo dos canais e as mais finas nas margens (DUARTE, 2002).

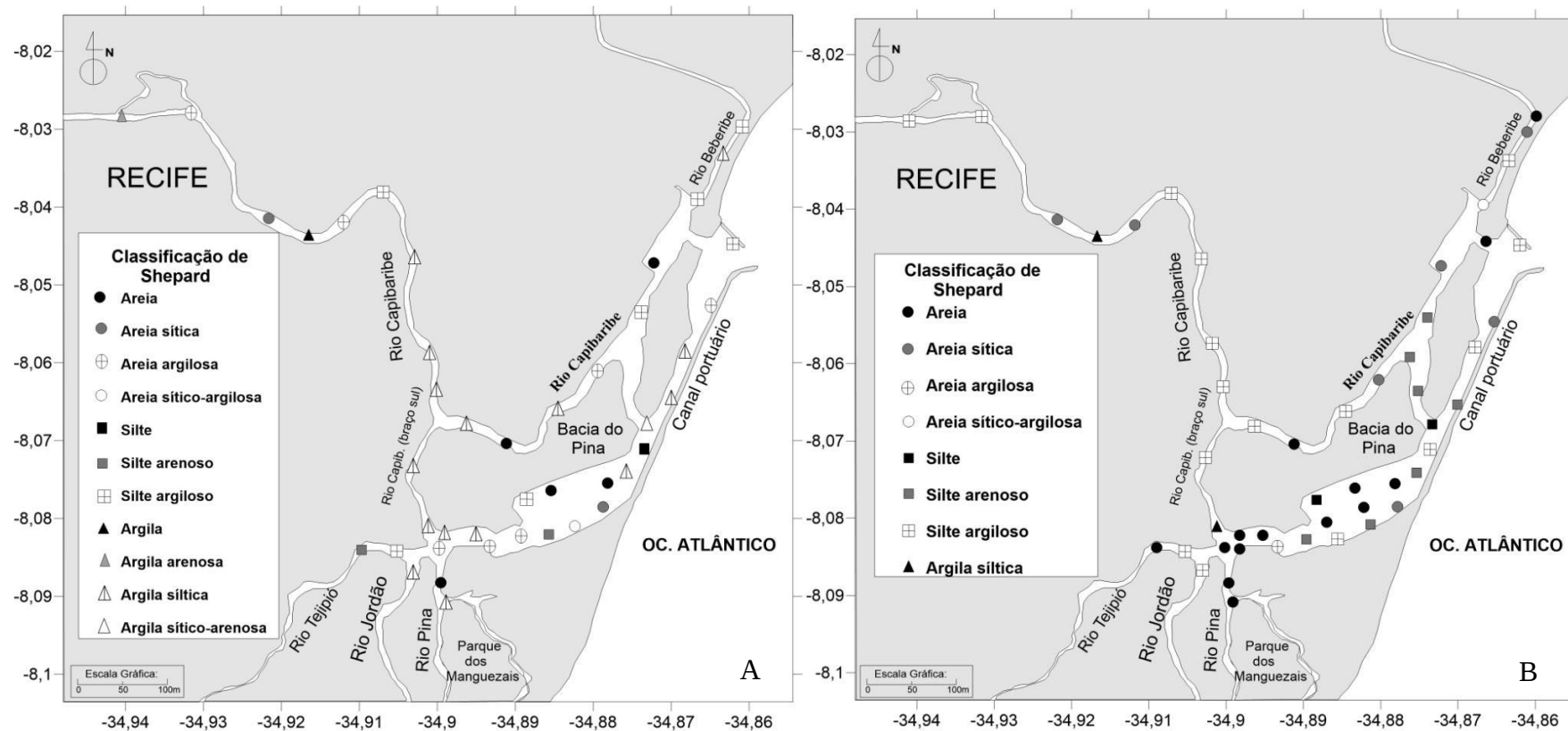
5.4 Padrão sedimentar do Estuário do rio Capibaribe

O estuário do rio Capibaribe 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 (OLIVEIRA, 2014). A área comporta-se como um retentor natural de sedimentos, e aparenta exportar, sedimentos arenosos e lamas para o oceano adjacente, com evidência durante o período chuvoso. Caracteriza-se como um ambiente estuarino confinado, assoreado, densamente urbanizado e com aporte perene de sedimentos finos, de composição siliciclástica e argilosa, com teores orgânicos altos de origem mista tendendo à continental (OLIVEIRA et al., 2014).

O sistema estuarino apresenta características de sedimentação diferentes entre os períodos chuvosos e secos: o período seco é caracterizado por uma sedimentação de granulação variando de silte muito fino a areia grossa com predominância de silte grosso. De acordo com a classificação textural de Shepard (1954) as fácies variaram de argila siltica a silte, com predominância de silte argiloso. Em relação às porcentagens das frações, o período seco variou de 1,34 a 98,58% de areia, 0,18 a 77,24% de silte e 0,00 a 67,11% de argila (OLIVEIRA, 2014) (Figura 11).

O período chuvoso se caracteriza por apresentar granulação variando de argila a areia média, com predominância de silte muito fino. De acordo com a classificação textural de Shepard (1954) as fácies variaram de argila a silte com predominância de argila siltica. Em relação às porcentagens das frações, o período chuvoso variou de 0,25 a 99,16% de areia, 0,13 a 93,25% de silte, e 0,16 a 76,17% de argila (Figura 11).

Figura 11: Comportamento entre o período chuvoso (A) e seco (B) das fácies sedimentares presente no estuário do Rio Capibaribe.



Fonte: OLIVEIRA (2014).

6 GEOMORFOLOGIA

Pedrosa et al., (1995) observaram sete domínios geomorfológicos para a Região Metropolitana do Recife (RMR), classificados como Modelado Cristalino, Domínios Colinosos, Tabuleiros Costeiros e a Planície Costeira (planícies flúvio-marinhas, baixios de maré, depósitos de praia e recifes de arenitos).

O Modelado Cristalino ocorre em pequenos trechos restritos localizados na porção oeste da RMR, correspondente ao embasamento cristalino. É constituído por morros e chãs (encostas convexas ou retilíneas) de morfologia irregular, apresentando cotas altimétricas acima de 100 m. Nessas unidades são encontrados vales fluviais de fundo chato, colmatados por material arenoso ou em formato em V, indicando fase erosiva.

O Domínio Colinoso é denominado de “mares de morros”, pois se caracteriza pela presença de colinas suaves e relativamente arredondadas, em geral de pequena extensão. Está situado entre os tabuleiros costeiros e os vales dos principais rios e encontram-se as formações cretáceas, apresentando cotas altimétricas entre 10 a 40 m.

Os Tabuleiros Costeiros estão localizados na porção norte da Cidade do Recife. São constituintes por sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras, sendo mais extensas ocorrências sedimentares depositadas no Plio-Pleistoceno. Esses tabuleiros costeiros apresentam cotas altimétricas entre 40 a 100m, entrecortadas pelas drenagens, com interflúvios de topos aplainados. Nestas áreas a morfologia apresenta-se mais regular, com extensas superfícies aplainadas, com vales predominantemente de fundo chato. Nas encostas desses tabuleiros existem feições denominadas rampas de colúvio. Estas feições permitem maior remobilização de sedimentos, pois este material já foi remobilizado e situa-se em áreas de declive o que favorece a ação gravitacional.

A Planície Costeira é uma unidade geomorfológica com grande complexidade, por representar um ambiente de transição entre os processos marinhos e continentais. Em Recife-PE, além dos Terraços Pleistocênicos e Holocênicos, foram identificados sub-compartimentos geomorfológicos como a planície Flúvio-Lagunar, os Baixios de Maré, Depósitos de Praia e Recifes de Arenito.

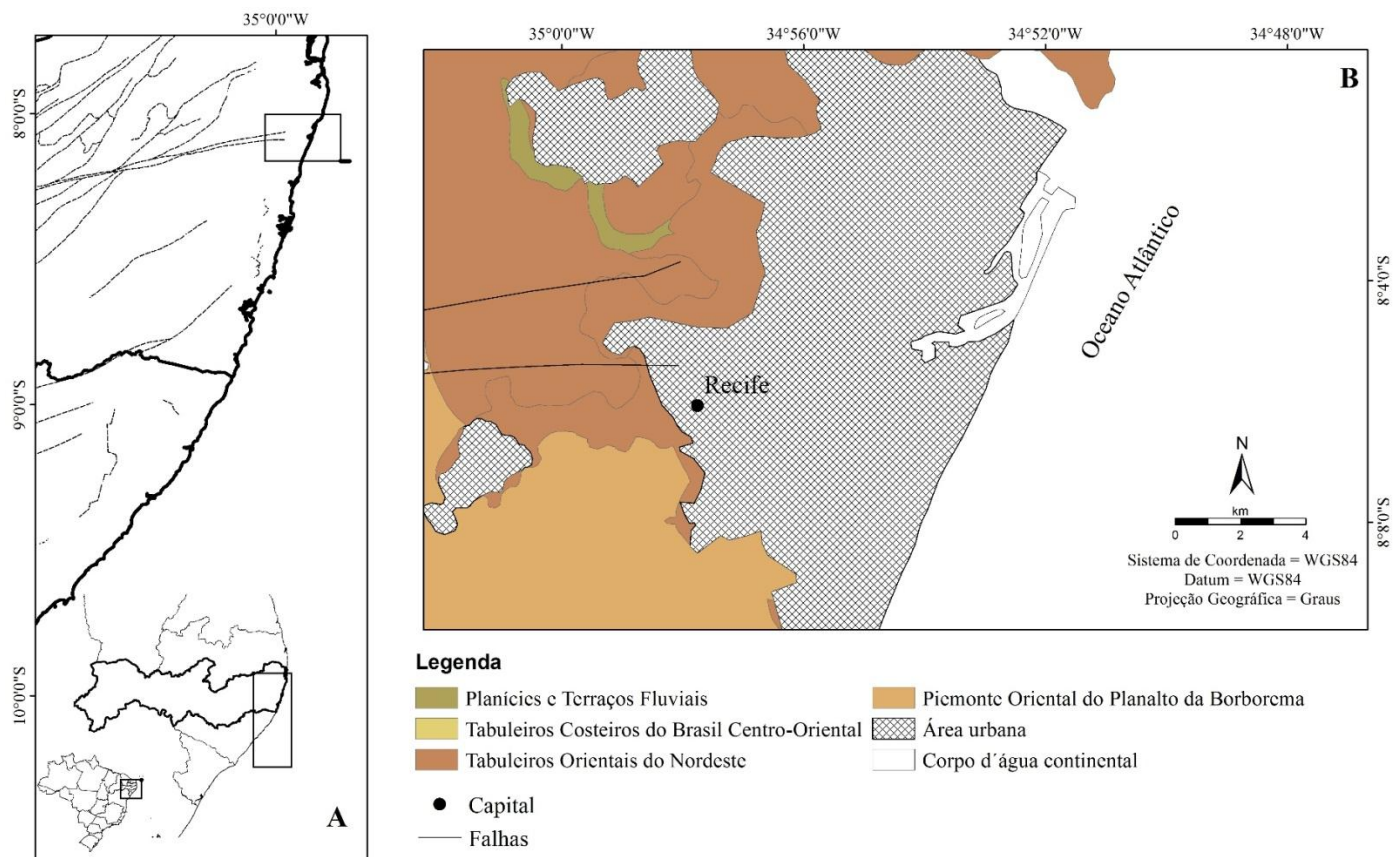
A planície flúvio-lagunar é subdividida em quatro unidades. Os terraços indiferenciados ou não alagáveis, os terraços flúvio-lagunares, planícies alagáveis e planícies alagadas. Os terraços indiferenciados representam a porção mais ampla da planície costeira, está relacionada às planícies fluviais dos principais rios e mantém-se seca e pouco susceptível a inundações. Os terraços flúvio-lagunares constituem a porção da planície costeira localizada entre os terraços fluviais e os terraços marinhos e apresentam cotas superiores aos baixios de maré. A evolução desses terraços está associada aos episódios de variação do nível do mar, respondendo as influências continentais e marinhas durante as fases regressivas e transgressivas, respectivamente.

A planície alagável está localizada entre os terraços marinhos e parte das áreas dos depósitos flúvio-lagunares. São subunidades caracterizadas por áreas rebaixadas sujeitas a inundações intermitentes. A planície alagada é uma subunidade localizada em áreas úmidas ou permanentemente inundadas composta por lagoas, brejos e alagados. Os baixios de maré é um sub-compartimento com áreas favoráveis aos processos de sedimentação flúvio-marinha, apresentam cotas altimétricas baixas e gradiente de declividade quase nulo. Neste sub-compartimento é comum a instalação de bosques de manguezais.

Os depósitos de praias estão localizados na linha de praia, apresentam uma estreita faixa costeira e presença de pequenas acumulações eólicas. Os recifes de arenitos são sub-

compartimentos geomorfológicos que estão localizados nas proximidades de desembocaduras dos rios e barras arenosas. Possuem topos aplainados, podendo ser recobertos por organismos coralíneos ou algálicos. São importantes na manutenção da morfologia da zona costeira, atuando como uma barreira natural protegendo da ação das ondas marinhas (Figura 12).

Figura 12: (A) Mapa geomorfológico do litoral sul de Pernambuco e (B) Geomorfologia da Região Metropolitana do Recife.



Fonte: Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais.

7 VEGETAÇÃO

O estado de Pernambuco apresenta uma composição florística variada. Andrade-Lima (2007) classificou em quatro zonas fitogeográficas para o estado: do litoral, da mata, da caatinga e das savanas.

A zona fitogeográfica do litoral é caracterizada por uma flora que habita a faixa do litoral, sob a influência direta ou indireta do mar. Está localizada na zona litorânea de Pernambuco compreendendo do município de Goiana-PE até São José da Coroa Grande-PE. Andrade-Lima (2007) subdivide a zona do litoral em quatro subzonas com características fisionômicas bem definidas e composição florística própria: 1) marítima; 2) praia; 3) restinga e 4) mangues.

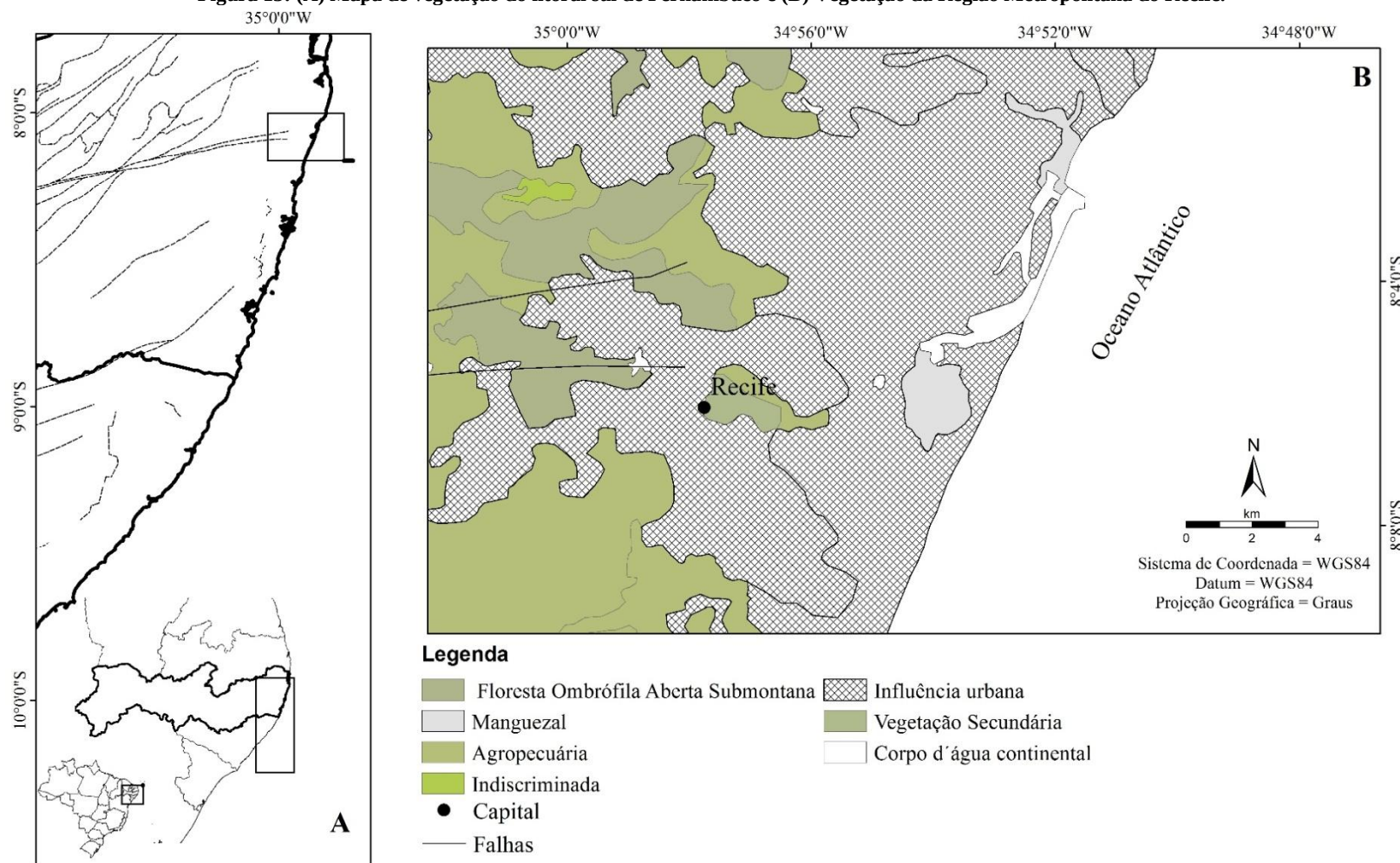
A vegetação marítima compreende quase a totalidade das alas oceânicas que se fixam sobre os recifes de arenitos ao longo da costa ou em fundos arenosos e rasos entre os recifes e a praia, ou ainda, em afloramentos graníticos ao nível do mar. A vegetação de praia localiza-se em áreas em contato com o mar, de solos arenosos inconsolidado com vegetação rasteira. A largura dessa subzona varia de alguns metros a aproximadamente cem metros, como observado por Andrade-Lima (2007) no cabo de Santo Agostinho e na praia de Porto de Galinhas, respectivamente. Nesta área ocorre o predomínio de gramíneas, leguminosas e cactáceas.

A vegetação de restinga e terraços litorâneos está localizada no pós-praia. Apresenta largura variável com o máximo dois quilômetros. É composta por solos arenosos, planos ou formando sucessões de elevações e depressões alongadas, paralelas à linha de costa. Andrade-Lima (2007) dividiu esta subzona em outros dois grupos. A mata de restinga apresenta vegetação com copa larga, irregular muito elevada e os campos de restinga com vegetação arbustiva, densa, localizada em áreas mais abertas.

A vegetação de mangue está localizada em áreas de contato com águas estuarinas, de baixa energia hidrodinâmica e alta sedimentação de sedimentos finos. Com predomínio de *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa* nesta subzona.

A zona fitogeográfica da zona da mata representa a ligação entre as florestas orientais e as florestas equatoriais brasileiras, oriundas do sul do Brasil e da Amazônia respectivamente. Andrade-Lima (2007) subdivide a zona da mata pernambucana em três subzonas. A mata úmida e mata seca que é baseada na maior ou menor exuberância da vegetação, áreas de maior ou menor umidade, altitude, permeabilidade do solo e proximidade da caatinga. A mata serrana está localizada nas serras do estado, seja graníticas ou cretáceas, em cotas altimétricas superiores a 500 m (Figura 13).

Figura 13: (A) Mapa de vegetação do litoral sul de Pernambuco e (B) Vegetação da Região Metropolitana do Recife.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente

8 CLIMA

Pelos parâmetros de pluviosidade, temperatura e regimes de frentes de ar, de acordo com a classificação de Köppen o litoral de Pernambuco do tipo Ams', caracterizado por apresentar chuvas de moções ao longo do ano, com uma estação seca bem definida e relativamente curta que ocorre no outono, sendo considerado como um clima bastante úmido (MANSO et al., 2006). Entretanto, o clima da região metropolitana do Recife do tipo As', com características pseudo-tropical, quente e úmido e registro de chuvas de outono-inverno derivadas da Frente Polar Atlântica e Ondas de Leste.

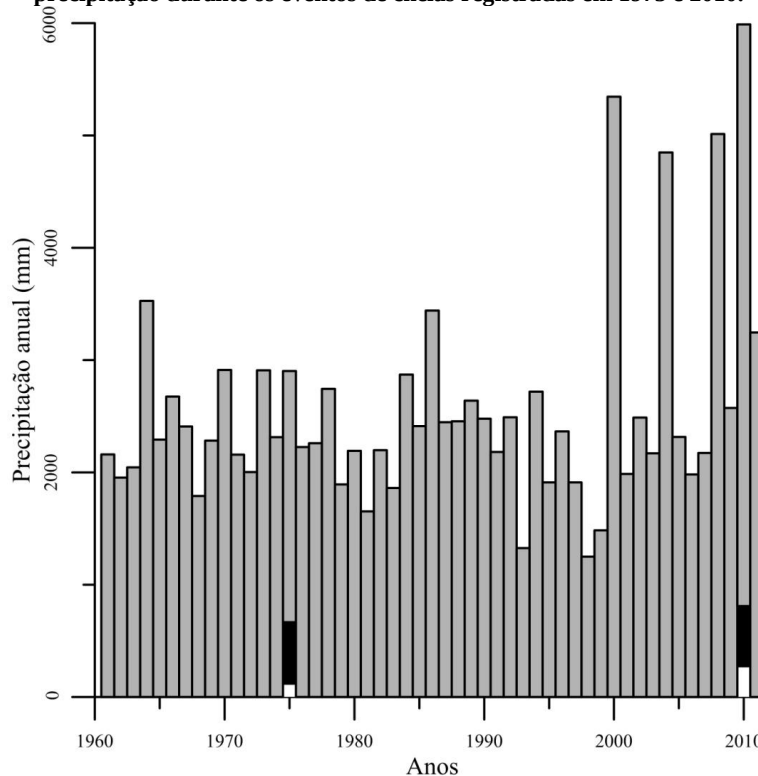
As temperaturas médias anuais oscilam entre 25 °C e 30 °C. Em geral, não apresentam variações bruscas, com amplitudes térmicas anuais próximas de 5 °C (MANSO et al., 2006). Vasconcelos e Bezerra (2000) afirmam que as temperaturas médias anuais oscilam em torno de 24 °C nos meses de junho a agosto e 27 °C nos meses de novembro a fevereiro.

Para a cidade do Recife, o INMET confirma a presença de duas estações típicas. O inverno, que se estende de março a agosto, caracterizado por um período chuvoso com precipitações médias entre 200 a 400 mm mensais. E o verão, que se estende de outubro a janeiro, caracterizado por um clima seco com precipitações mensais inferiores a 100 mm. A zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as Frentes Frias do Sul ou bandas de nebulosidade, os Distúrbios de Leste ou ondas de Leste e os Ciclones na Média e Alta Troposfera do tipo Baixas Frias, conhecidos como Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) são os principais sistemas atmosféricos de macro escala que influenciam nos índices pluviométricos no nordeste brasileiro. Além desses, as brisas terrestres e marinhas e os ventos de vale-montanhas são sistemas de meso-escala que influenciam também na distribuição das chuvas para região (MOURA, 2001).

8.1 Histórico de Inundações da Região Metropolitana do Recife

A RMR registra eventos climáticos extremos associados às chuvas desde 1849. Entre os principais eventos de cheia ocorridos na cidade, destaca-se o evento de 1849, popularmente chamado de “*Cheia dos Remédios*”. O evento ocorrido em 1975, chamado como a cheia do século XX, registrando 110,2 mm de chuva apenas para os dias 17 e 18 de julho de 1975. E a cheia de 2010, que destruiu as cidades de Palmares - PE e Barreiros-PE, registrou 266,1mm para os dias 17 e 18 de junho de 2010 (ALBUQUERQUE et al., 2011) (Figura 14).

Figura 14: Gráfico com as médias anuais de precipitação durante 1961 a 2012 (cinza). As barras em preto representam os registros dos valores mensais e as barras em branco representam os valores diários de precipitação durante os eventos de cheias registradas em 1975 e 2010.



Fonte: Instituto de Pesquisas Espaciais

Paiva, Diniz e Catão (2007) afirmam que a enchente de 1975 foi a maior registrada nos últimos 100 anos, com uma vazão estimada de $3.400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, entretanto, informações indicam que a enchente de 1849 atingiu níveis superiores as de 1975. Este evento climático extremo ocorrido em 1975 causou grandes transtornos para a RMR, 80% do

perímetro urbano da cidade ficou sob as águas, registrou 107 mortes e 350 mil desabrigados, atingindo 25 municípios entorno da bacia hidrográfica do rio Capibaribe. Apenas em Recife, 31 bairros, 370 ruas e praças, 40% dos postos de gasolina ficaram inundados. Os problemas trazidos com a cheia de 1975 fazem com que o Governo Federal projetasse e executasse obras para a contenção de inundações. (ALBUQUERQUE et al., 2011). Entre elas:

- i) A construção da barragem de Carpina, no rio Capibaribe concluída em 1978, permitindo a vazão máxima de $300 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.
- ii) A construção da barragem de Goitá, concluída em 1978, realizada para controlar as cheias do rio Goitá, afluente da margem direita do rio Capibaribe, permitindo uma vazão máxima de $100 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.
- iii) Intervenções no leito do rio Capibaribe, visando aumentar a capacidade de escoamento da calha urbana, de modo a suportar uma descarga máxima de $1.600 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, entretanto, atualmente a capacidade máxima é de $700 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.
- iv) Melhorias na operacionalidade da barragem de Tapacurá, projetada para suportar uma descarga máxima de $150 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

A enchente de 2010 causou sérios danos em várias cidades do Estado, no qual 33 municípios declararam situação de emergência e 11 de calamidade pública, registrando aproximadamente 12.700 pessoas desabrigadas e 8.000 desalojadas (ALBUQUERQUE et al., 2011).

9 PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS

9.1 Marés

Marcondes (2009) classifica a maré no complexo estuarino do rio Capibaribe como maré astronômica, semi-diurna, com preamar entorno de 2,70 metros e baixa-mar -0,20 metros durante a sizígia. Macêdo (2011) classificou as marés que atuam na região costeira de Pernambuco como mesomarés com intensidade hidrodinâmica forte e processos e amortecimento e defasagem da maré. Estes fenômenos estão associados às características geomorfológicas da bacia (ARAÚJO; PIRES, 1998a).

9.1.1 Correntes de Marés

Em relação a correntes de marés, Araújo e Pires (1998), Marcondes (2009) e Oliveira et al. (2014) encontraram velocidades de corrente variando entre 0,30 a 0,87 m.s⁻¹. Araújo e Pires (1998), em estudos de medição de velocidades de correntes de maré na Bacia do Pina, obtiveram resultados que apontaram uma tendência nas maiores velocidades nos períodos de vazante e as menores velocidades nos períodos de estofas de marés, com velocidades próximas de zero. Schettini et al. (2016) registraram intensidades de velocidade de corrente de maré em torno de 0.60 m.s⁻¹ para a foz da Bacia do Pina. Marcondes (2009) afirma que além das intensidades hidrodinâmicas, os processos de erosão e assoreamento induzem o sistema estuarino, principalmente na Bacia do Pina.

9.2 Salinidade

O estuário do rio Capibaribe apresenta salinidade variando de 0,14 a 33,92 de salinidade da parte mais a montante até a foz, respectivamente (NASCIMENTO et al., 2003). Travassos, Macêdo e Koenig (1991) encontraram salinidade variando de 0,05 a 36 na superfície e fundo, respectivamente, afirmando que o rio Capibaribe apresenta uma coluna d'água bem estratificada no período de preamar, com maiores valores de salinidade próximos ao fundo. Schettini et al. (2016) afirma que o rio Capibaribe apresenta maiores valores de salinidade durante o período seco, isto ocorre devido à maior taxa de evaporação neste período.

Feitosa e Passavante (1990) e Nascimento et al. (2003) observaram para a Bacia do Pina uma nítida variação sazonal de salinidade. Em meses mais chuvosos foram registrados valores de salinidade de 5 durante a baixa mar, e em períodos de estiagem durante a preamar registraram valores de 36. Os autores classificaram a Bacia do Pina como predominantemente do tipo bem misturado, podendo apresentar estratificação apenas na boca do estuário durante os meses de maior pluviosidade. Segundo Araújo (2008) uma das evidências para essa classificação é a localização de duas de suas maiores áreas de assoreamento em regiões de grandes seções transversais adjacente do canal principal.

10 HIDROGRAFIA

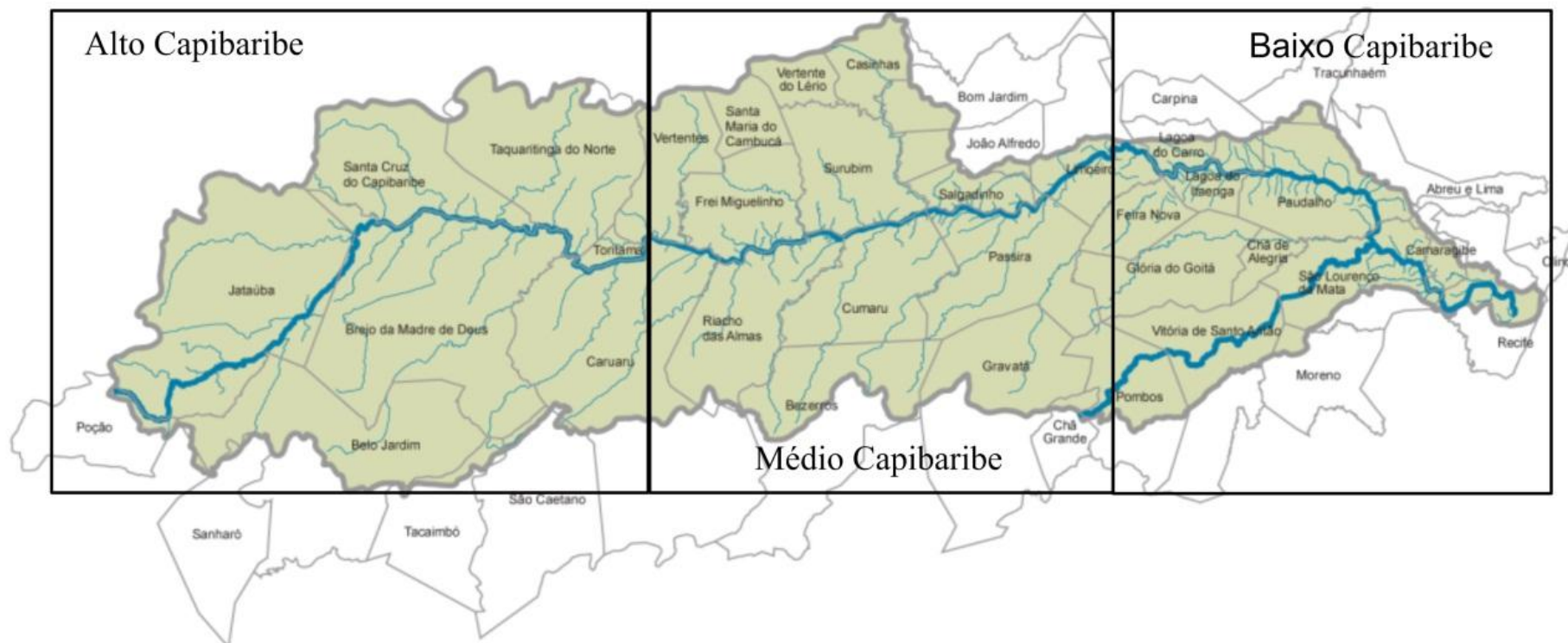
A bacia hidrográfica do rio Capibaribe está localizada na porção norte-oriental do Estado de Pernambuco ($7^{\circ}41'20''$ e $8^{\circ}19'30''$ S/ $34^{\circ}51'00''$ e $36^{\circ}41'58''$ W). Apresenta direção inicial sudeste-nordeste até as proximidades de Santa Cruz do Capibaribe – PE, tomando o curso oeste-leste até a cidade do Recife. Apresenta um regime fluvial intermitente, tornando-o perene no seu baixo curso.

Seus principais afluentes são: os riachos do Mimoso, Tabocas, da Onça, Carapatós, das Éguas, Calatuba, Batatã, Contumgubá, Jataúba, Doce, Topada, do Manso e Cajaí; os rios Goitá, Tapacurá, Jordão, Tejipió/Jiquiá, Pina, Beberibe e Capibaribe.

10.1 Rio Capibaribe

O rio Capibaribe nasce na Serra do Jacarará no município de Poção. Sua bacia estende-se por aproximadamente 7.700 km^2 (cerca de 8% da área total do Estado) percorrendo cerca de 250 km até a foz e apresenta vazão média anual de $19 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. É dividido em Alto Capibaribe (da nascente até o município de Toritama - PE), Médio Capibaribe (de Toritama - PE até Limoeiro - PE) e Baixo Capibaribe (de Limoeiro - PE até Recife - PE) (MANSO et al., 2006; MARCONDES, 2009) (Figura 15).

Figura 15: Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.



Fonte: Modificado de SRHE (2010).

O rio Capibaribe conta com dois importantes afluentes para a formação da bacia hidrográfica. Os rios Tapacurá e o Goitá, que nascem nas encostas da Serra das Russas. O rio Tapacurá está localizado a 500 m de altitude, percorre aproximadamente 63 km até desaguar no rio Capibaribe nas proximidades do município de São Lourenço da Mata, neste local o afluente é regulado pela barragem de Tapacurá construída em 1973. O rio Goitá nasce a 300 m de altitude, e estende-se por 54 km até a confluência com o rio Capibaribe ainda no município de Glória de Goitá, e neste local está localizada a barragem de Goitá. Além dessas duas barragens, o rio Capibaribe conta também com a barragem de Carpina formando o sistema de controle de enchentes e contribuem para o abastecimento de água para o Estado (MANSO et al., 2006; MARCONDES, 2009; SILVA, 2003).

Silva (2003) afirma que a rede de drenagem no alto curso do rio Capibaribe apresenta características efêmeras, controlada pela erosão diferencial da rocha matriz, com diferentes estruturas e litologias. Estas características refletem na disposição aproximadamente paralela dos afluentes da margem direita da bacia com o rio principal, sendo diferentes para os afluentes da margem esquerda da bacia apresentando de forma quase perpendicular ao rio Capibaribe.

O rio apresenta uma bifurcação no baixo curso do Capibaribe, dividindo-se em braço norte, que conserva o mesmo nome, fazendo confluência com o rio Beberibe até a foz do estuário. E o braço sul, que passa pela Ilha do Retiro rumo à Ilha de Joana Bezerra, desaguando na Bacia do Pina (MARCONDES, 2009). Marcondes (2009) afirma que possivelmente esta bifurcação pode influenciar na hidrodinâmica local.

Silva (2003) caracterizou o Alto Capibaribe como uma drenagem entrelaçada, com tendência dentrítica em direção à foz e o tipo de canal classificado como entrelaçado

caracterizado por barras arenosas por enchentes decorrentes de chuvas rápidas e intensas. O baixo curso foi classificado como retilíneo e meandrante, entretanto, vale ressaltar que o braço sul do Capibaribe sofreu processo de retificação de suas margens. Nesta região do baixo curso está sobre a planície costeira, rica em material lamoso.

10.2 Rio Tejipió/Jiquiá

O Tejipió em conjunto com as áreas de drenagem dos rios Jordão/Setúbal e Jiquiá, drenam uma área de 93,2 km² e está localizada na Região Metropolitana do Recife. Drena parte dos municípios, Jaboatão dos Guararapes e São Lourenço da Mata. Banha cerca de 67,6 km² do município do Recife (NASCIMENTO et al., 2003). O Rio Tejipió apresenta aproximadamente 20 km de extensão. Nasce no município de São Lourenço da Mata e serve como divisa entre os municípios de Recife e Jaboatão, desaguardo na bacia do Pina. Forma uma das principais bacias da cidade totalizando cerca de 93 km². É caracterizado como um curso d'água que pertence ao grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos GL1 (MARCONDES, 2009; OLIVEIRA, 2014).

10.3 Rio Jordão

O Rio Jordão possui cerca de 7 km de extensão com área de drenagem de aproximadamente 24 km². Nasce entre as colinas sedimentares localizadas no bairro do Jordão, em altitudes que variam entre 60 m e 70 m. São marcadas pela alta dissecação fluvial, originando canais fluviais entalhados em vales em “V”, as colinas da Zona Sul do Recife convivem com a atividade de mineração de areia e argila e a intensa ocupação urbana (MARCONDES, 2009; OLIVEIRA, 2014).

10.4 Rio Pina

O Rio Pina origina-se a partir da bifurcação do rio Jordão, que após receber a contribuição do seu principal afluente, o canal de Setúbal, penetra numa área de grande influência da maré, com uma vegetação de mangue bem desenvolvida (Parque dos Manguezais). A partir dessa bifurcação, o braço direito é denominado de Rio Pina, este banha a ilha de Deus e desemboca na Bacia do Pina (ARAÚJO & PIRES, 1998; MARCONDES, 2009; OLIVEIRA, 2014).

10.5 Bacia do Pina

A Bacia do Pina localiza-se na parte interna do Porto do Recife e separada do Oceano Atlântico por um dique artificial construído sobre os recifes naturais. É formada pela confluência dos Rios Capibaribe (braço sul), Tejipió, Jordão e Pina, sendo por isso considerada um sistema estuarino (FEITOSA; NASCIMENTO; COSTA, 1999). A confluência dos rios transporta para a bacia descargas de efluentes indústrias e domésticos, somados ao intenso tráfego de embarcações. É um ambiente dinâmico e exerce um papel de grande importância socioeconômica para a população circunvizinha, de baixa-renda, onde coletam, diariamente, peixes, moluscos e crustáceos (FEITOSA; NASCIMENTO; COSTA, 1999; MARCONDES, 2009). A Bacia do Pina encontra-se ainda nas proximidades do Parque dos Manguezais, um dos últimos resquícios de mangue preservado da cidade do Recife, que vem sofrendo com os constantes aterramento e a presença de lixo, além da pressão pela especulação imobiliária, e mais recentemente, pela construção de uma rodovia. O Parque dos Manguezais apresenta uma área de aproximadamente 3 km², sendo considerado como o maior manguezal urbano do Brasil e um dos maiores do mundo (SILVA et al., 2010).

10.6 Rio Beberibe

A Bacia Hidrográfica do rio Beberibe ocupa uma área de 81 km² e está localizada na porção central da Região Metropolitana do Recife - RMR. Essa área distribui-se de forma política-administrativa por três municípios, situando-se a sua maior parte em Recife (52,3km²: 64,51%), e o restante em Olinda (17,7km²: 21,29%) e Camaragibe (11,5km²: 14,19%). A bacia está dividida pela BR-101 em dois setores distintos, em termos de ocupação. A oeste desta rodovia a área da bacia apresenta baixo índice de ocupação, com resquícios da Mata Atlântica. Ao leste da BR, apresenta elevado índice de ocupação urbana.

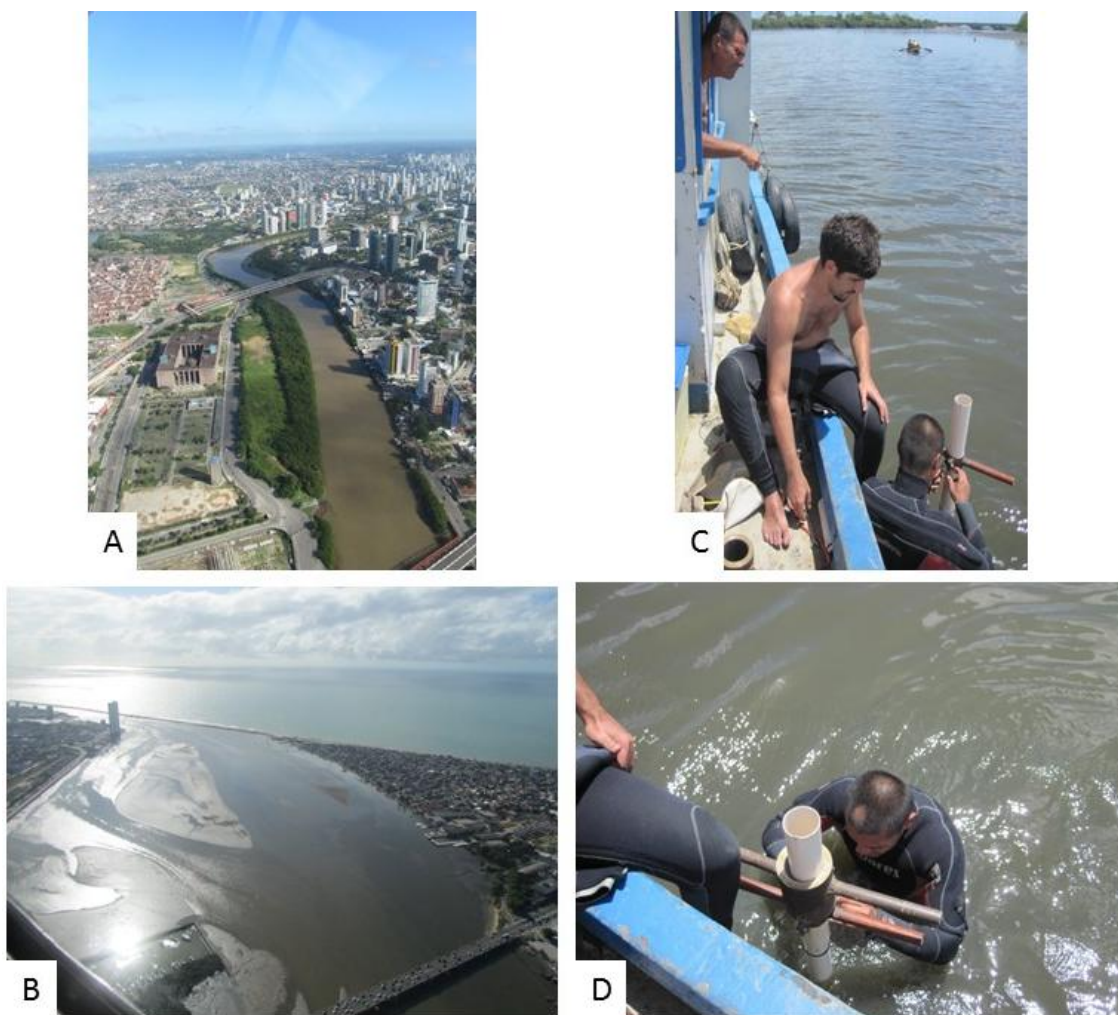
O Rio Beberibe é um rio litorâneo e apresenta 23,7 km de extensão, formado pela confluência dos riachos Pacas e Araçá a altitude de 130m sobre coberturas sedimentares cenozoicas do Grupo Barreiras. O Rio Morno é o seu principal afluente da margem direita (sul) e os principais afluentes são o Córrego do Abacaxi e o Canal da Malária na margem esquerda (norte). Em períodos normais, o rio Beberibe apresenta uma calha estreita, com largura aproximada de seis metros em grande parte do seu percurso, alargando-se apenas no seu trecho final, próximo a foz em seu trecho estuarino, onde sofre influência das marés. Esta largura de leito só é passível de alteração em períodos de enchentes. No final de seu curso, o rio Beberibe corre paralelo ao mar na direção sul até sua foz, onde se encontra com o Capibaribe e desembocam juntos no Oceano Atlântico (SRHE, 2014).

11 MATERIAIS E MÉTODOS

11.1 Etapa de campo

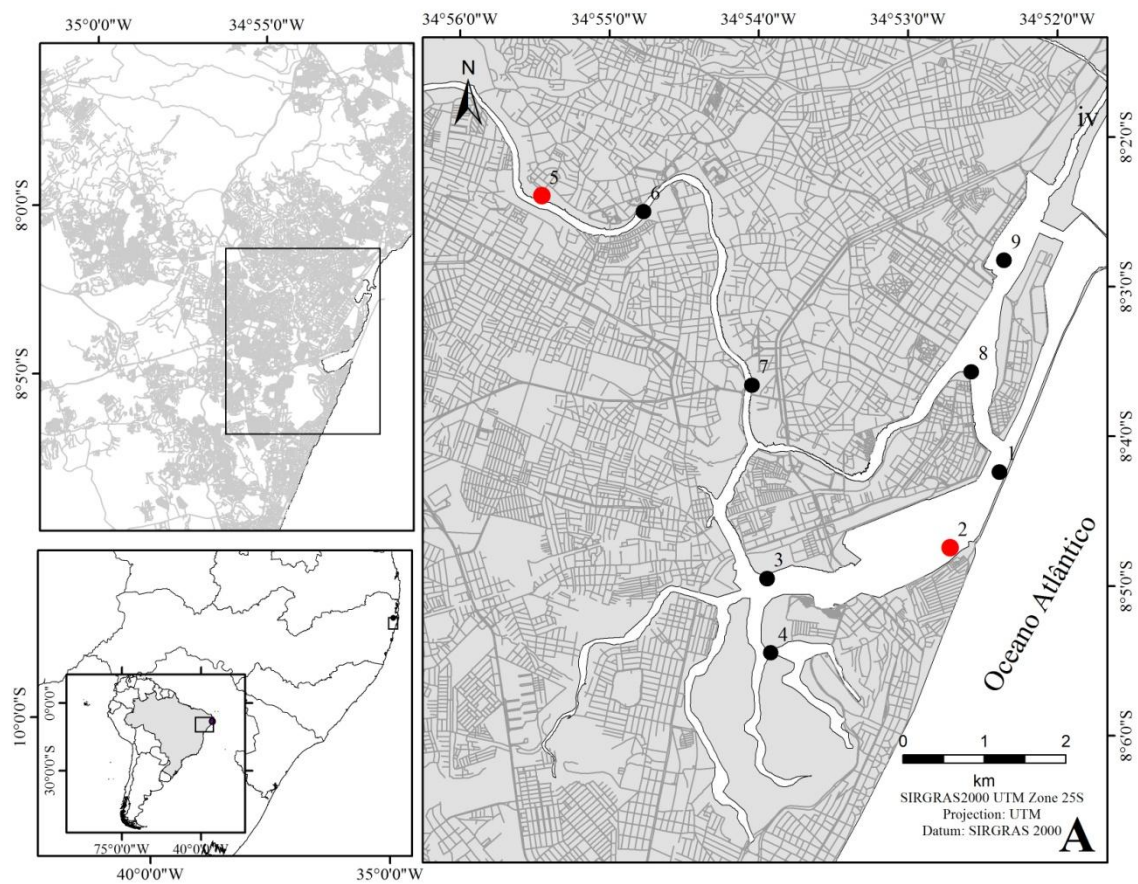
Este trabalho faz parte do Projeto “Susceptibilidade e Resiliência de Sistemas Estuarinos Urbanos a Mudanças Globais” (MugloEst - APQ79-1.08/11). A etapa de campo foi realizada em 27 de novembro de 2012 e por meio do método *pushcore*, foram recuperados nove testemunhos ao longo do estuário do rio Capibaribe (Figura 16). Do total de testemunhos recuperados foram utilizados os dois que melhor representam as áreas do médio e baixo estuário (Figura 17).

Figura 16: Fotos aéreas do rio Capibaribe (A) e da Bacia do Pina (B) em 14/06/2011. Método de testemunhagem push-core em 27/11/2012.



Fonte: Roberto Barcellos.

Figura 17: Localização dos testemunhos recuperados no médio e baixo estuário do rio Capibaribe (em preto). Os testemunhos T2 e T5 foram usados para este estudo (em vermelho).

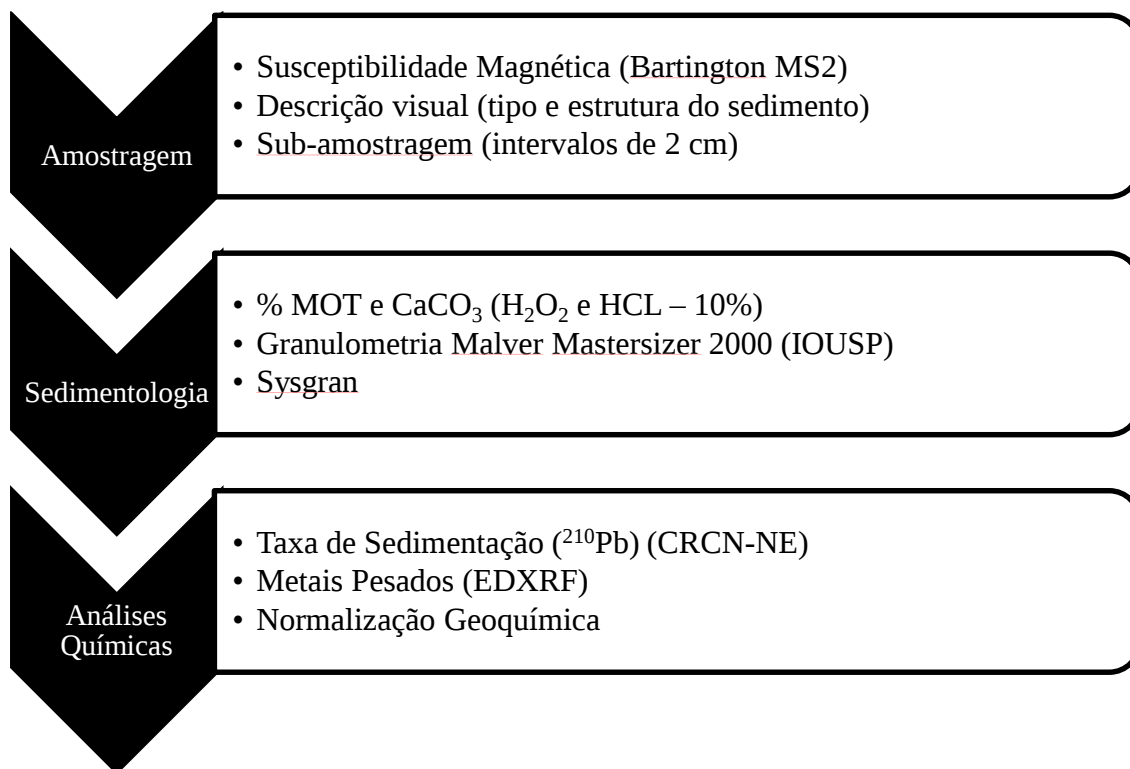


Fonte: O autor (2017).

11.2 Etapa de laboratório

As etapas de laboratório realizadas estão demonstradas no fluxograma (Figura 18).

Figura 18: Fluxograma das atividades de laboratório.



Fonte: O autor (2017).

11.2.1 Susceptibilidade Magnética

Em laboratório foram realizadas medições de susceptibilidade magnética de todos os testemunhos através de um sensor Bartington MS2. Após esse procedimento os testemunhos foram seccionados longitudinalmente, descritos, fotografados e subamostrados em intervalos de 2 cm (Figura 19).

Figura 19: Obtenção dos dados de susceptibilidade magnética (fotos acima) e descrição visual do testemunho com registros fotográficos (abaixo) Foto do T5.



Fonte: Roberto Barcellos em 17/12/2012.

11.2.2 Quantificação dos teores de carbonato de cálcio e matéria orgânica total

As amostras foram secas em estufas a 50 °C. Após esse procedimento, foram pesados 10 g de sedimentos para as análises da porcentagem de carbonato de cálcio (CaCO_3) e matéria orgânica total (MOT). As análises de porcentagem de CaCO_3 e MOT determinados a partir da diferença de peso seco, medido em balança analítica, antes e pós ataque químico com ácido clorídrico (HCl) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) ambos a 10%, respectivamente (CARVER, 1971).

11.2.3 Análise granulométrica

As análises granulométricas foram realizadas no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo com o auxílio de um granulômetro por difração a laser Malver Mastersizer 2000. Após a obtenção dos dados, foi utilizado o *software* SysGran 3.0 (CAMARGO, 2006) para a obtenção das análises estatísticas proposta por Folk e Ward (1957) e a classificação textural de Shepard (1954).

11.2.4 Taxa de sedimentação

As análises de taxa de sedimentação pelo método do ^{210}Pb foram realizadas em parceria com os Laboratório de Química Inorgânica Marinha pertencente ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (LAQIMAR-IOUSP) e o Laboratório da Divisão de Monitoração Ambiental do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (DIMAB-CRCN/NE). O método para a medição da taxa de sedimentação foi descrito por Figueira et al. (1998) e Saito et al. (2001) que se baseia no princípio do decaimento da meia-vida do ^{210}Pb ($t_{1/2} = 22,3$ anos) e estes valores obtidos foram calculados obedecendo o método CIC (*Constant Initial Concentration*) proposto por Appleby e Oldfield (1978).

11.2.5 Metais pesados

Para a obtenção das concentrações de metais foi utilizado o método por fluorescência de raios-x por dispersão de energia (EDXR), realizado no DIMAB-CRCN/NE. É uma análise multi-elementar baseado na excitação dos átomos dos elementos químicos de uma amostra. As concentrações dos elementos são calculadas de acordo com a dispersão, detecção e mensuração desses raios-X (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2009).

Para a obtenção das concentrações de metais foram utilizados aproximadamente dois gramas de sedimentos secos, cominuídos em gral de ágata e transferidos para recipientes forrados com filme de polipropileno para EDXRF. Os resultados foram mensurados com auxílio de um EDX-720 marca Shimadzu com tubo de raios-X de Ródio e um detector de Si(Li) para quantificação dos elementos característicos. Para a certificação da metodologia foram utilizados dois valores de referência o SRM 2710 Montana Soil, produzidos pelo National Institute of Standards & Technology (NIST) e IAEA-Soil7 produzido pela International Atomic Energy Agency (IAEA). Estes materiais de referência foram analisados junto com as amostras sedimentares com tempo de análise de 300 segundos. Para os elementos Cu, Co, Fe, Ga, La, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, Ti, V e Zn, a voltagem foi ajustada para 50 kV e empregou-se filtro de Mo, enquanto que, para Al, Ca, K e Si, a voltagem foi 15 kV com filtro de Al. Os resultados foram expressos em massa seca (teor de água igual a 1%) (Tabela 1).

Tabela 1: Valores obtidos e certificados para os elementos químicos e suas respectivas incertezas analíticas expandidas (95% de confiança)* para as análises pela fluorescência de raios-X por energia dispersiva – EDXRF. Modificado de Almeida et al. (2012).

Elemento	Valor obtido (mg.kg ⁻¹)	Valor certificado (mg.kg ⁻¹)
Al	64800 ± 2250	64400 ± 800
Si	292700 ± 1600	28700 ± 1800
K	20200 ± 140	21100 ± 1100
Ca	1200 ± 70	12500 ± 300
Ti	3190 ± 130	2830 ± 100
V	71 ± 40	76,6 ± 2,3
Mn	10100 ± 100	10100 ± 400
Fe	35800 ± 140	33800 ± 1000
Co	10,3 ± 0,9	10**
Ni	21 ± 9	14,3 ± 1,0
Zn	7020 ± 40	6952 ± 91
Ga	34 ± 1,2	34**
Rb	114 ± 3	120 ± 24
Sr	334 ± 5	330**
Pb	5590 ± 33	5532 ± 80
La	41 ± 5	34**

*Estimativa de incerteza por determinação de EDXRF foi baseada na variabilidade da intensidade (n=3) e na acurácia da curva de calibração para cada elemento químico analisado.

**Valores informativos

Para identificar anomalias e evolução da concentração de metais pesados foram realizadas normalizações geoquímicas por um elemento conservativo, estas normalizações são utilizadas com ferramentas na avaliação dos níveis de contaminação antrópica (BAPTISTA NETO; SMITH; MCALLISTER, 2000; KARAGEORGIS; KATSANEVAKIS; KABERI, 2009). Existem dois métodos de normalização de metais em sedimentos, utilizando a granulometria ou métodos geoquímicos (LORING, 1991). Para normalização geoquímica é necessário a utilização de um elemento litogênico conservativo (DIN, 1992; GROUSSET et al., 1999). Geralmente, o Alumínio é utilizado como o elemento litogênico conservativo devido este ser o maior constituinte da litosfera e compor grande parte dos argilominerais (LORING, 1991) e sua concentração geralmente não são influenciados pelas fontes antrópicas (SCHROPP; WINDOM, 1988; DIN, 1992; COVELLI; FONTOLAN, 1997)

Existem alguns tipos de normalizações geoquímicas tais como relação Al/metál, fator de enriquecimento, fator de contaminação, índice geoquímico e outros. A relação Al/metál é um método de regressão entre a concentração de metais e o elemento normalizador, no caso o alumínio. (LORING; RANTALA, 1992; ROACH, 2005). Por meio da regressão é realizado o índice de 95% de confiança dos dados e por esse cálculo do índice pode-se identificar os valores que apresenta contaminação. Os metais que apresentarem acima dos valores de confiança de 95% apresentam algum tipo de contaminação sejam naturais e/ou antrópicas, valores abaixo do nível de confiança não apresentam contaminação e para valores dentro do nível de confiança são considerados naturais (HERUT; SANDLER, 2006).

O Fator de Enriquecimento (FE) é definido por Szefer et al. (1998) como:

$$FE = \frac{(C/Al)_{amostra}}{(C/Al)_{background}}$$

Onde $(C/Al)_{amostra}$ é a concentração de metias na amostra; $(C/Al)_{background}$ representa a concentração do metal na base ou o background deste elemento para a Terra (Tabela 2).

Tabela 2: Tabela de classificação dos valores do Fator de Enriquecimento (BIRCH; OLMOS, 2008).

Fator de enriquecimento	Classificação
<1	Não enriquecido
<3	Levemente enriquecido
3 – 5	Enriquecimento moderado
5 – 10	Enriquecimento moderadamente grave
10 – 25	Enriquecimento moderadamente grave
20 – 50	Enriquecimento muito grave
>50	Enriquecimento extremamente grave

Outra normalização geoquímica é o Fator de Contaminação (FC), que segundo Hakanson (1980) é expresso:

$$FC = \frac{C_{metal}}{C_{Background}}$$

Onde, C_{metal} é a concentração do metal na amostra e $C_{background}$ representa o valor do nível de background da Terra do metal analisado ou a concentração da base do testemunho quando considerada natural. Os valores do fator de concentração foram divididos em quatro grupos expressos na Tabela 3.

Tabela 3: Classificação de Fator de Contaminação (SATAPATHY; PANDA, 2015).

Fator de Contaminação	Classificação
< 1	Baixa contaminação
1 – 3	Contaminação moderada
3 – 6	Contaminação considerável
>6	Altas contaminações

Por fim, o Índice de Geoacumulação (I_{geo}) é usado para determinar o nível de contaminação de uma amostra sedimentar quanto a substâncias orgânicas e inorgânicas quando comparadas ao valor de background. O cálculo do índice de Geoacumulação dá-se pela expressão:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 \times B_n}$$

Onde, C_n é a concentração do metal na amostra; B_n é o background geoquímico do elemento analisado. Este índice foi dividido em seis classes (Tabela 4)

Tabela 4: Classificação dos valores de Índice de Geoacumulação (MÜLLER, 1969).

I_{geo}	Classificação
>0	Não poluído
0 – 1	Não poluído a moderadamente poluído
1 – 2	Moderadamente poluído
2 – 3	Moderadamente a fortemente poluído
3 – 4	Fortemente poluído
4 – 5	Fortemente a extremamente poluído
>5	Extremamente poluído

12 A 200-YEARS RECORD OF SEDIMENTATION IN THE CAPIBARIBE ESTUARY-PE, BRAZIL

ABSTRACT

This study aims to describe the sedimentary evolution of lower Capibaribe estuary associated with anthropic changes over 200 years. A 158-cm deep core was recovered and analyzed for sedimentation rates (^{210}Pb), magnetic susceptibility, calcium carbonate, total organic matter, grain size, metal concentrations and Al-normalized ratios. The core showed 0.45 cm.y^{-1} and revealed three sedimentary units with different sedimentological and geochemical characteristics. Unit 1 (indicates events occurred before the first anthropic intervention in the lower estuarine system, showing estuarine sedimentation and natural metals concentrations. Unit 2 records the beginning of Recife Harbor building, with increasing of sandy fraction percentages and decreasing of mud, organic matter and metal concentrations. Unit 3 shows the anthropic influence in the estuarine system, with higher sedimentation of fine sediments and MOT, and Pb, As and Zn contamination from anthropic sources registered by Al-normalized. Probably the geochemistry characteristics of Ternary Barreiras Formation disguise the contamination levels for other elements. Peaks of fine sediments, organic matter and heavy metals were registered (4, 16 and 72 cm deep) reporting probably higher rainfall and flood events occurred in the Capibaribe Estuary.

Keywords: estuarine sedimentation, anthropic changes, Holocene, grain size, heavy metals.

12.2 Introduction

Estuarine sedimentation is a consequence of many conditions, such as the sediment source that may be both from the river, or from the adjacent shelf, transported by littoral currents and introduced into the estuary by tidal action or littoral drift (FRIEDMAN; SANDERS, 1978; LARGIER, 1993; UNCLES, 2002). The erosion of inner estuary rocks or pre-estuarine sediments and biogenic material is also significant in relation with particular geological setting or the climatic situation of the region (WELTJE; VON EYNATTEN, 2004). However, the sediment distribution in estuaries is extremely variable and reflects the hydrodynamic conditions and the dominant transport processes in each of their sectors (PERILLO, 1995). Effects of human activities are noted in the morphology and sedimentology of the estuaries. The embanking and land-claim may alter the estuarine geomorphology and influence in the reduction in the tidal regime as well as in the volume of the estuary.

Anthropogenic impacts strongly modify the natural balance of the environment estuarine in various ways (TRAINI et al., 2015). The exponential growth of human population along the riverine and estuarine areas around the world has deteriorated the environmental quality of urban rivers. Urban and industrial activities contribute the significant input of pollutants/contaminants into marine and continental systems in which they are deposited. The introduction of pollutants into rivers and estuaries, especially those in industrial and densely populated centers, had led to a significant increase in metal contamination (ZOURARAH et al., 2007).

Many parameters are used to study the coastal environment evolution such as the utilization of sedimentary columns, historical maps, and vertical variation of parameters as well as magnetic susceptibility, grain size analysis, heavy metals concentration,

sedimentation rates and other parameters (MARTINS et al., 2007; WATSON et al., 2013; ZHANG et al., 2007).

The sedimentary columns studies can provide historical records of diverse influences in the coastal systems, indicating the natural baselines and changes caused by anthropic modifications during the time (BUCKLEY; SMITH; WINTERS, 1995; LI et al., 2000). Sediment record preserves the environmental history of the drainage basin and can be useful a baseline in comparison how future changes may alter a certain environment (SANDERS et al., 2006). Alterations in sediments composition may result from anthropogenic disturbance such as urban development, road construction, agriculture and hydrologic changes (JHA; CHAVAN; SABASIVAN, 2003).

The use of historical maps is very important in the comparison and in the identification of the area characteristics in its natural stage or before anthropic interventions. Such as comparison of coastline in different years, evolution of anthropic expansion in a city or area, and others.

Furthermore, basic sedimentological parameters, such as grain size, total organic matter and calcium carbonate contents in coastal environments provide important information for paleoenvironmental reconstructions as well as global and regional historical of climatic changes (MEYERS, 1997).

Variations in magnetic susceptibility have been used for detecting anthropogenic pollution caused by power plants, metallurgical dusts, fly-ashes and urban airborne particulates (HELLER; STRZYSZCZ; MAGIERA, 1998; HOFMANN; KNAB; APPEL, 1999; MARTINS et al., 2007). The oxidation of material during combustion that contains a relatively large amount of iron, heavy metals such as Pb, Cu and Zn, and polycyclic aromatic hydrocarbons, explains the relationship between magnetic susceptibility values

and industrial pollution sites (HANESCH; SCHOLGER, 2002; MARTINS et al., 2007; MORRIS et al., 1995; STRZYSZCZ; MAGIERA, 1998).

Heavy metal concentrations are important parameters in estuarine sedimentary cores studies because estuaries retained and trap fine particulate material and the associated contaminants. The accumulation of metals in estuarine systems can be natural or/from anthropic sources. The runoff from adjacent coastal plain areas is the primary source for the natural contribution of metals. Discharge of urban and industrial wastes waters, combustion of fossil fuels, mining and smelting operations, processing and manufacturing industries and others are primary anthropogenic sources of pollution (ANDREWS et al., 1999; BIRCH; DAVEY, 1995; CHATTERJEE et al., 2007; CHITRARASU et al., 2013; DELGADO et al., 2012; YU et al., 2001).

Another important parameter in the study of coastal evolution is the sedimentation rate. The use of radionuclides in the environment as sediment tracers offers considerable potential for determining sediment sources and sedimentation rates in drainage basins (WANDERLEY et al., 2014). The excess ^{210}Pb dating method is commonly used as a chronometer for the reconstruction of anthropogenic inputs in the last two centuries. It is an important tool in the comprehension of sedimentary processes, especially in the ephemeral estuarine systems (DÍAZ-ASENCIO et al., 2009; SWAZENSKI et al., 2006).

The anthropic induce changes occurs in Capibaribe River (8°S/35°W) since the start of colonization processes, intensified with arrived of Dutchmen (1630 – 1654), with installation of the harbor and urban area. The Capibaribe Estuary experimented some physical interventions during the 18th and 19th centuries because building of improvement of the harbor, dikes, dredging and landfill activities. The intensify these processes was a

trademark during 20th century added with disorderly occupation processes (PONTUAL, 2001).

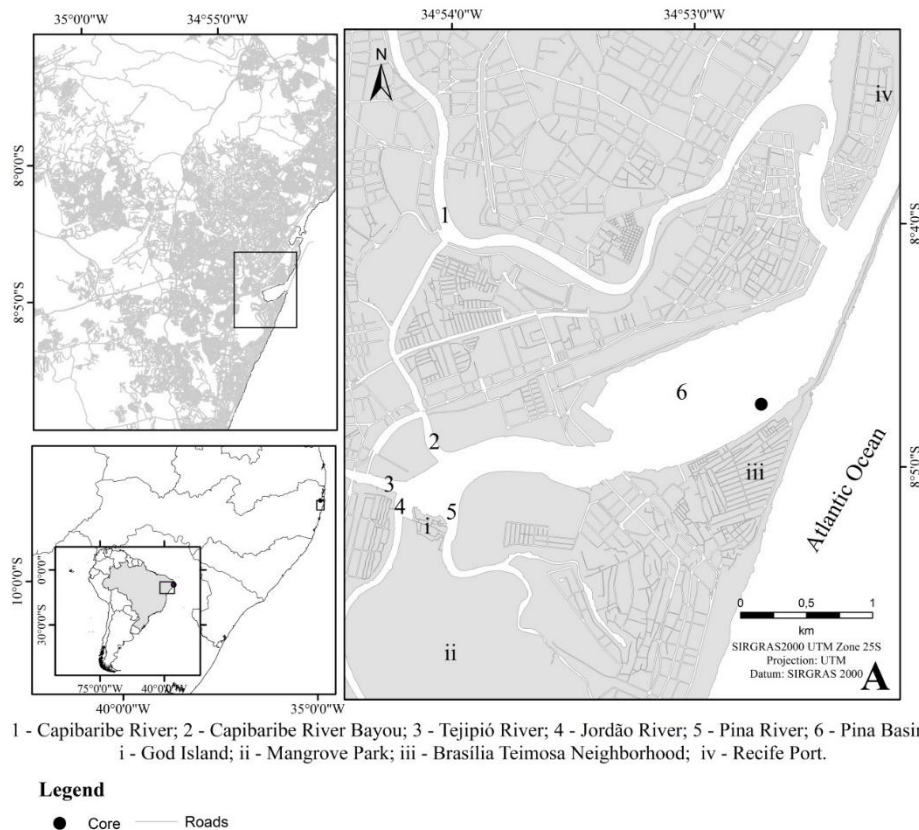
Currently, the Capibaribe Estuary is being polluted by different sources as well as fish and shrimp farming constructions, and discharge of industrial and domestic wastes and sewage (MACEDO et al., 2007; SILVA; MACEDO; BRAYNER, 2010). The aim of this study is to describe the sedimentary evolution occurred in the lower Capibaribe Estuary by mean of the analysis of sedimentary and geochemical parameters along a sedimentary core.

12.3 Material and methods

12.3.1 Study Area

The Capibaribe Estuary is located in Recife City, Pernambuco State (Northeastern Brazilian Coast). It is formed by the Capibaribe, Tejipió/Jiquiá, Jordão, Pina and Beberibe rivers. It has an important ecological function, serving as a reproduction area for mammals, birds, fishes and other organisms. It also serves as an economic and social pole to the Recife Metropolitan Region (RMR) (MACEDO et al., 2007) (Figure 1).

Figure 1: Map localization of Lower Capibaribe Estuary. A) Localization of core was recuperated.



Authorship: The Author (2017).

The Capibaribe River presents 250 km of extension, from its source in Jararacá mountain chain to its mouth, draining 43 municipalities (AQUINO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2014), with a drainage basin of approximately 7.500 km². The rivers flow on crystalline rocks, and the tertiary and quaternary sediments being drained only in the Capibaribe River lower sector. Tertiary sediments (Barreiras Formation) are composed by fluvial sandy deposits, intercalated with muddy sediments. Quaternary sediments form the coastal plain, corresponding to estuarine and shallow marine sediments; fluvial sediments are present along river margins (MANSO et al., 2006).

The Capibaribe Estuary shows two sedimentation types, a sedimentation of grain size varying from very fine silt to coarse sand with predominance of coarse silt

characterizing the dry climatic period, and a sedimentation of grain size varying from clay to medium sand with predominance of very fine silt characterizing the rain climatic period (OLIVEIRA et al., 2014)

The climate in the RMR is characterized as humid and warm tropical, As' type according to Köppen classification, with higher rainfall periods between March and August and dry periods between September and February. The average rainfall is of 2,200 mm.y⁻¹ and air annual temperature mean of 25.2 °C (MANSO et al., 2006).

The RMR houses 3.7 millions of inhabitants, being approximately 1.5 million in Recife City and, from this number, about 235,000 inhabitants living in the lower Capibaribe Estuary. Recife City has a density population of about 7,000 inhabitants/km² (IBGE, 2010). In margins of Capibaribe River present small and degraded mangroves and the Pina Basin houses an extensive mangrove area, with approximately 20 km², called Mangrove Park with registered *Rizhophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* and *Avicennia schaueriana* specimens. Despite its environmental importance, the Mangrove Park is being affected by real estate pressure, pollution and disorderly occupation (SILVA; MACEDO; BRAYNER, 2010).

The lower Capibaribe Estuary presents a preferred ebb direction flow with maximum current speeds of 0.63 m.s⁻¹ and salinity values varying from 25.6 to 36.7 (SCHETTINI et al., 2016a). The Capibaribe Estuary presents well mixed circulation type, and it's an estuarine turbidity maxima (ETM) at 15 km from the mouth. This ETM zone coincides with upper limit of salt intrusion of estuary. These characteristics provide higher sedimentation rates (SCHETTINI et al., 2016b).

According to Oliveira et al. (2014) and Martins et al. (2016) the grain size of surface sediments vary from silt to gravelly sand, with a prevalence of muddy sediments

and sands being concentrated close to the river mouth, attesting the efficiency of coastal hydrodynamics in the fine fractions transport. Concerning temporal variations, there is a slight tendency of clays increasing during periods of higher rainfall events as observed by Barcellos et al. (2016) for Jaboatão Estuary located 20 km southward.

12.3.2 Methods

A 158-cm deep core was collected in November 2012, with the aid of a push-core operated by a scuba diver at the coordinates of 8°04'24"S and 34°52'44"W. After core recovery, it was analyzed for magnetic susceptibility in a Bartington MS2C meter. The measurements were made with a $0.1 \cdot 10^{-5}$ S.I. resolution and readings were taken at 2 cm intervals (MARTINS et al., 2007). After that, the core was opened, described and continuously sub-sampled at intervals of 2 cm. Samples were dried at 50°C in order to be analyzed for grain size, total organic matter and calcium carbonate contents, metal concentrations and determination of sedimentation rates by $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ activity.

Total calcium carbonate and organic matter were determined according the methods proposed by Carver (1971). Calcium carbonate was determined by weight difference of the sediment prior and after addition of hydrochloric acid (10%). Total organic matter was determined also by weight difference prior and after addition of hydrogen peroxide (10%), until total reaction. Both results are presented as percentages of the bulk sample.

Grain size was determined in a Malvern Mastersizer 2000 laser sedimentometer, after calcium carbonate and organic matter removal of samples. Results allowed the determination of the grain size statistical parameters proposed by Folk and Ward (1957) and textural facies diagram classification of Shepard (1954), by mean of the *Sysgran 3.0* software (CAMARGO, 2006).

Sedimentation rate result followed radionuclide ^{210}Pb determination method described by Saito et al. (2001), it is based in ^{210}Pb half-live decay ($t_{1/2} = 22.3$ years) (PATCHINEELAM; SMOAK, 1999). The sedimentation rate value was calculated by CIC model (Constant Initial Concentration) (APPLEBY; OLDFIELD, 1978). A maximum time span of 200 years was considered for the age determinations (FIGUEIRA et al., 1998; TRAMONTE et al., 2016).

The metal concentrations were obtained by energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF). The method is a multi-elementary analysis that it is based in exciting of chemical element atoms of samples; the values of element concentrations were calculated according dispersion, detection and mensuration these X-rays (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2009). For metal analysis in sedimentary samples were used proximally 1 g of sediment in polyethylene tubes and were sealed with polyethylene film for EDXRF analysis. The results were measured in equipment ED-720 (Shimadzu) with rhodium x-ray tube and Si(Li) detector for characteristic element quantifications. For methodology certification was used two reference samples of National Institute of Standard and Technology (NIST) and of International Energy Atomic Agency (IAEA), SRM2709 San Joaquin Soil and IAEA-Soil7 respectively (Table 1). These soil reference were analyzed together the environment sediments and at time of 300 seconds. Cu, Co, Fe, Ga, La, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, Ti, V and Zn elements were used Mo filter and voltage adjusted at 50 kV and Al, Ca, K, and Si elements were measured with Al filter and voltage of 15 kV.

Table 1: Information Value (I.V) and Confidence Interval (C.I) for reference samples SRM 2709 and IAEA Soil 7 (mg.kg⁻¹).

Element	SRM 2709		IAEA Soil 7	
	I.V	C.I	I.V	C.I
Mg	1.4*	1.2 – 1.5*	11300	11000 – 11800
Al	2.6*	2.0 – 3.1*	47000	44000 – 5100
Si	< 0.01*	-	180000	169000 – 201000
P	0.07*	0.05 – 0.07*	460	460 – 462
K	0.32*	0.26 – 0.37	12100	11300 – 12700
Ca	1.5*	1.4 – 1.7*	163000	157000 – 174000
Ti	0.038*	0.03 – 0.04*	3000	2600 – 3700
V	62	51 – 70	66	59 – 73
Mn	470	360 – 600	631	604 – 650
Fe	3.0*	2.5 – 3.3	25700	25200 – 26300
Co	12	10 – 15	1.3	8.4 – 10.1
Ni	78	65 – 90	26	21 – 37
Cu	32	26 – 40	11	9 – 13
Zn	100	87 – 120	104	101 – 113
Ga	-	-	10	9 – 13
As	< 20	-	13.4	12.5 – 14.5
Br	-	-	7	3 – 10
Rb	-	-	51	47 – 56
Sr	101	100 – 112	108	103 – 114
Pb	13	12 – 18	60	55 – 71
Ba	398	392 – 400	159	131 – 196
La	-	-	28	27 – 29

*concentration values in percentages

In order to identify anomalies and evolution of heavy metals, geochemical standardizations by a conservative element were performed. The metals concentrations were standardized with aluminum usually utilized as lithogenic conservative element (LORING, 1991; GROUSSET et al., 1999). The normalization with grain size differences is a common method used for detection and quantification of anomalous metal concentrations (ALOUPI; ANGELIDIS, 2001).

However, the granulometric approach sometimes is not successful to available the metal variability, because the natural trace metal concentration in sediment are determined by composition of minerals and secondary compounds. Ho et al. (2012) state that the increase in the metal/normalizer ratios possibly indicates an enrichment of metals. O'Reilly Wiese et al. (1997) used these ratios to evaluate the contamination history

recorded in an estuarine environment in the Thames Estuary in Essex-UK. For this study was realized Al-normalized to identify these contamination levels.

Cluster analysis was used to identify relationship index between layers and Person correlation was used to identify relationship index between parameters. All parameters were transformed in logarithmic base ($\log(x+1)$), normalized and calculated the Euclidian distance. These results will be used to identify comprehension of the lower estuarine system sedimentation.

12.4 Results

The core presents an average sedimentation rate of 0.45cm.y^{-1} . Considering this value, the limit of 200 years for age estimation was reached at the depth of 90 cm, here referenced at 1812 years.

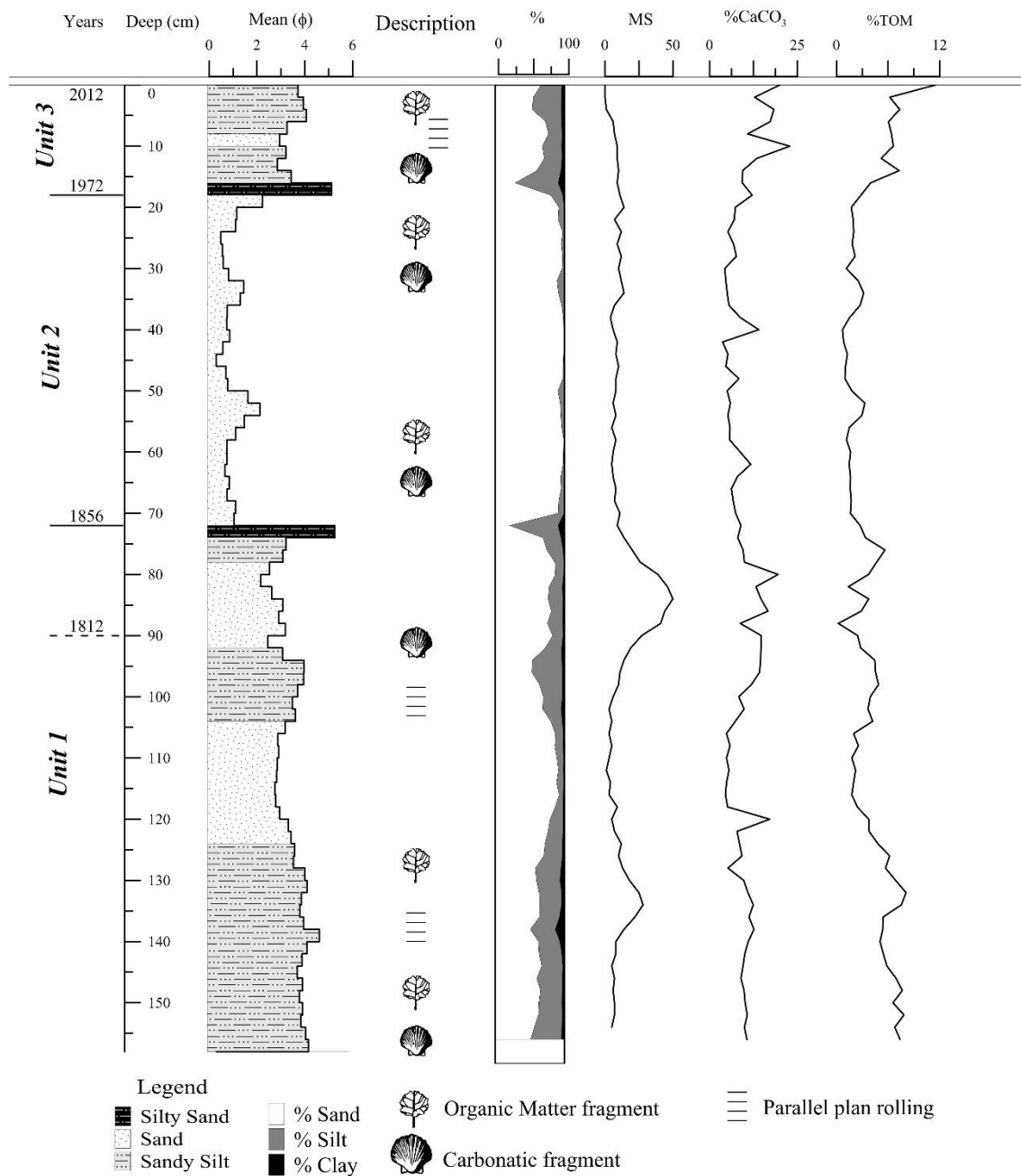
The core shows three units, based on its sedimentological characteristics (Table 2). The Unit 1, from 72 cm to core base (158 cm) registered the period from 1856 to ages beneath the ^{210}Pb detection limit. The Unit 2, from 18 to 72 cm, registered ages from 1972 to 1856, and the Unit 3 represents the first 18 cm of the core, with recent ages since 1972 to 2012 (Figure 2).

Table 2: Minimum, maximum and average values for each unit registered in core of lower Capibaribe Estuary. Magnetic susceptibility (MS) in 10^{-5}SI ; calcium carbonate (CaCO_3), total organic matter (OM), Sand, silt and clay in percentage; mean diameter (MD) in phi (ϕ).

	Unit 1			Unit 2			Unit 3		
	Min	Max	Average	Min	Max	Average	Min	Max	Average
MS	1.0	50.0	6.2 ± 3.6	4.0	14.0	8.5 ± 2.2	0.0	14.0	6.9 ± 3.7
CaCO_3	4.5	19.5	14.6 ± 4.0	3.7	14.0	6.7 ± 1.7	7.3	22.8	10.1 ± 2.7
TOM	0.2	8.1	6.3 ± 1.5	0.7	3.3	1.8 ± 0.5	1.7	11.5	4.4 ± 1.7
MD	2.2	5.1	3.5 ± 0.6	0.3	2.2	1.0 ± 0.4	2.2	5.3	3.5 ± 0.5
Sand*	21.0	92.3	63.3 ± 11.1	21.0	99.9	95.2 ± 2.6	28.9	91.8	70.3 ± 11.0
Silt*	5.9	44.6	32.2 ± 10.1	0.1	9.9	4.4 ± 2.2	7.4	62.2	26.1 ± 9.7
Clay*	1.1	13.3	4.6 ± 1.0	0.0	1.3	0.4 ± 0.4	0.8	8.9	3.7 ± 1.5

*values in percentages

Figure 2: Vertical distribution of mean size, fraction sediments percentage, magnetic susceptibility (MS), calcium carbonate (CaCO₃) and total organic matter (TOM).



Authorship: The Author (2017).

Unit 1 shows a finer sedimentation (silt and clay percentages with means 32.2% and 4.6%, respectively), very fine sand predominance, higher organic matter and calcium carbonate contents (means 6.3% and 14.6%, respectively). The Unit 2 presents higher

sandy sedimentation (mean sand percentage of 95.2%), mean diameter with coarse sand predominance, low organic matter percentages (mean 1.8%) and calcium carbonate contents (mean 6.7%). The Unit 3 shows higher silt and sand sedimentation (means 26.1% and 70.3%, respectively), mean diameter with very fine sand predominance, slightly high in organic matter and calcium carbonate contents (means 4.4% and 10.1%, respectively) (see table 2).

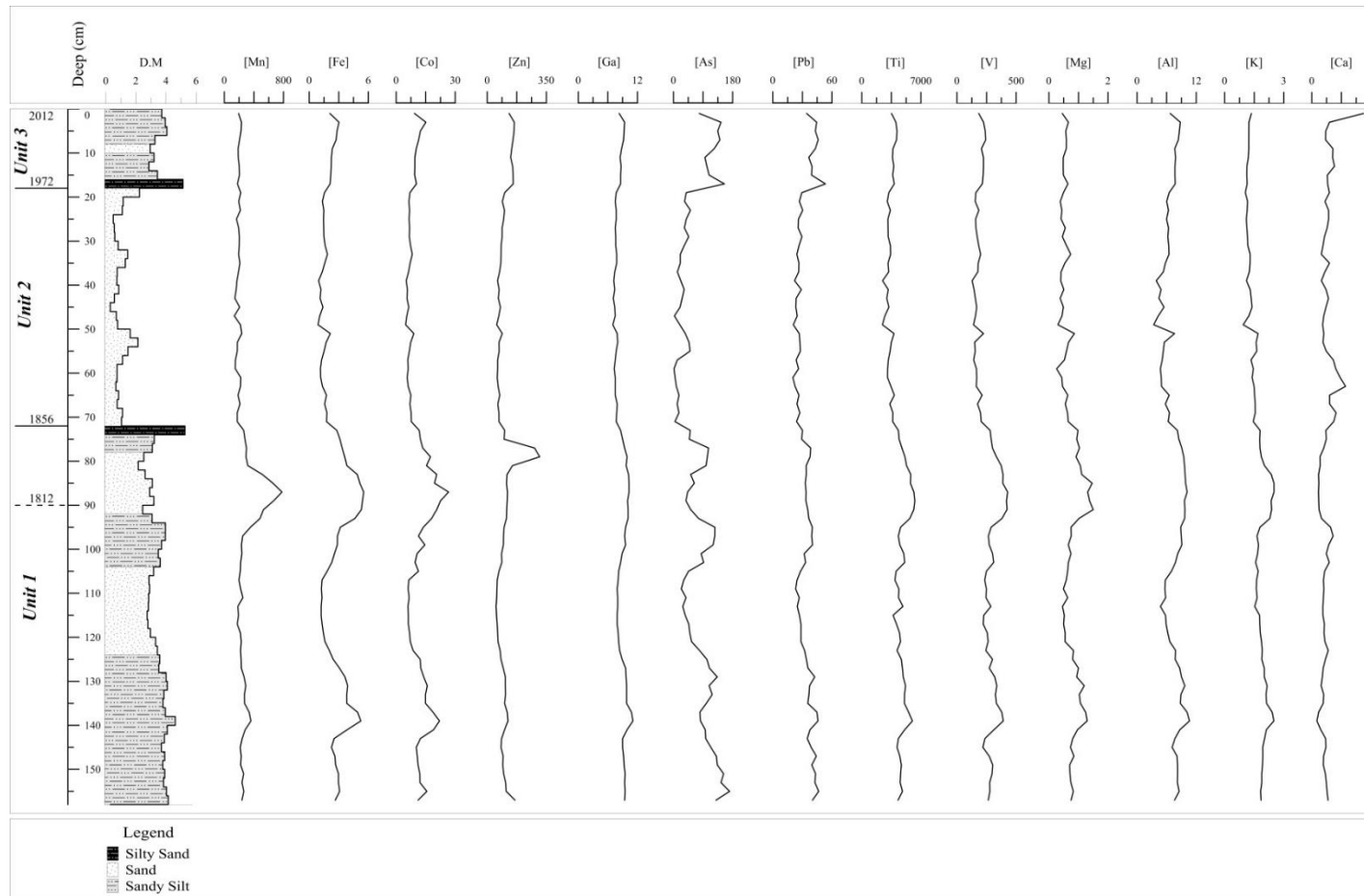
Following sedimentary classification, the table 3 records the metal values for each unit and vertical variations at figure 3.

Table 3: Geochemistry characteristics of Units show in sedimentary core and Earth geochemical background.

	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Turekian and Wedepohl (1961)
	Mean	Mean	Mean	MeanShale Earth
Mg*	0.9±0.2	0.5±0.1	0.5±0.1	1.5
Al*	8.2±1.1	5.6±0.9	7.8±0.6	8.0
K*	1.9±0.2	1.3±0.2	1.2±0.01	2.6
Ca*	1.4±0.3	2.0±0.5	2.5±0.3	2.2
Ti	4836.0±504.2	3214.1±301.1	3760.5±275.4	4600
V	302.9±46.1	169.4±23.2	213.6±22.5	130
Mn	300.0±92.8	187.5±25.2	203.8±13.9	850
Fe*	3.1±0.3	1.4±0.1	2.3±0.2	4.7
Co	13.2±4.0	6.6±1.0	10.4±1.7	19
Ni	30.0±9.8	17.3±2.6	21.1±2.8	68
Cu	72.3±5.0	82.1±4.4	66.1±9.6	45
Zn	104.8±28.5	74.4±11.0	144.7±18.1	95
Ga	9.3±0.7	7.6±0.2	8.7±0.5	19
As	86.5±20.8	24.2±8.6	112.24±9.7	13
Pb	35.2±4.9	25.5±2.1	41.0±5.9	20

*values in percentages; all elements in mg.kg⁻¹.

Figure 3: Vertical variation of metal concentrations of the sedimentary of core. Al, Fe, Mg, K and Ca are in percentages, other concentrations in mg.kg⁻¹.



Authorship: The Author (2017).

The Al-normalized shows some intervals above 95% interval confidence that identify contamination levels in the lower estuary. All intervals of Unit 3 show values of Pb, As and Zn above 95%, indicating that these elements present some contamination. Mn, Fe, Ni, Co, V, Mg, Ti show basal intervals of core above 95%, probably increase of natural concentrations in this unit (Figures 4 and 5).

Figure 4: Al-normalized graphics to Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn and Ca. Aluminum, iron and calcium concentrations are in percentage. Cross – unit 1; square – unit 2; and circle – unit 3.

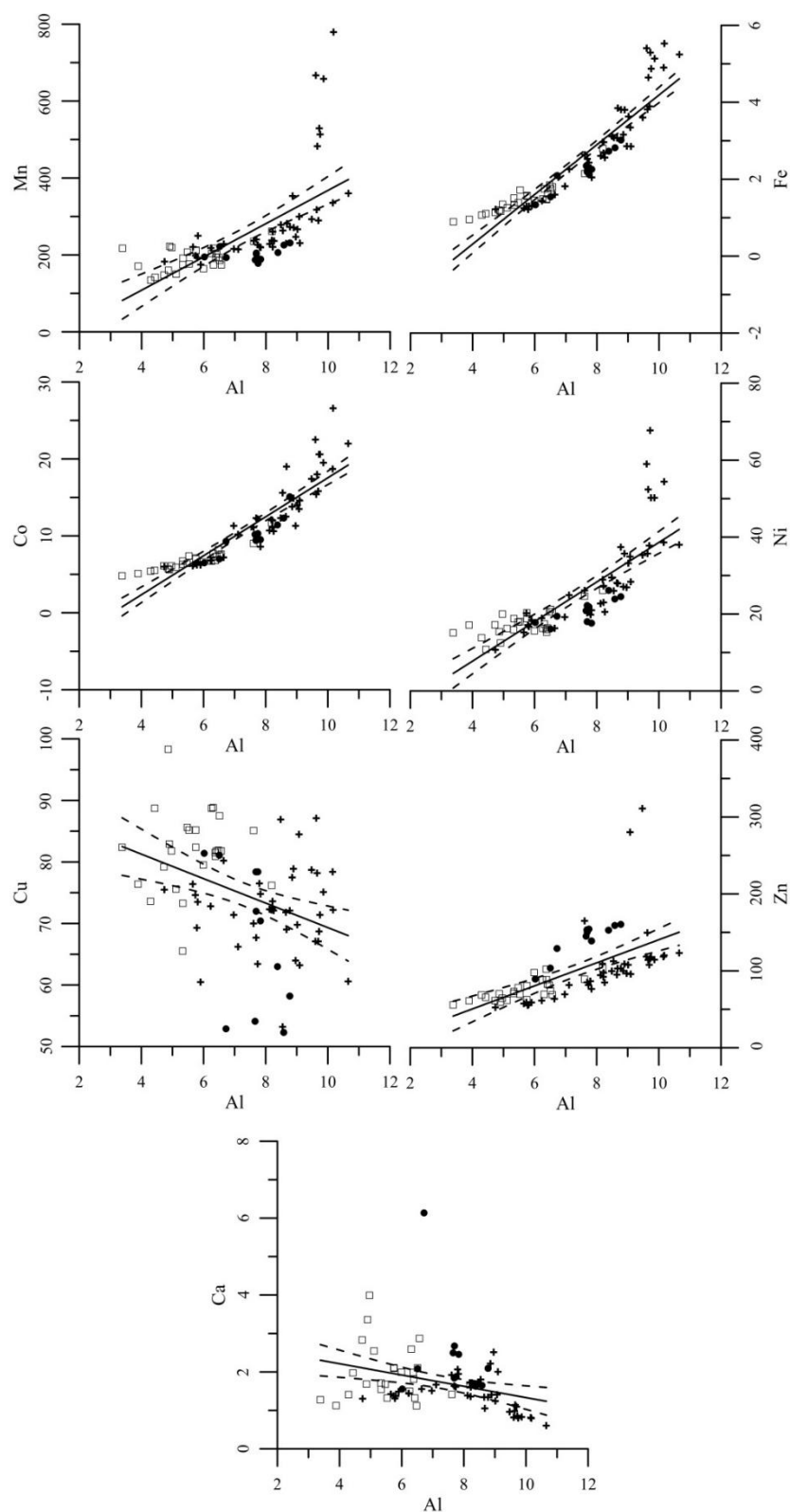
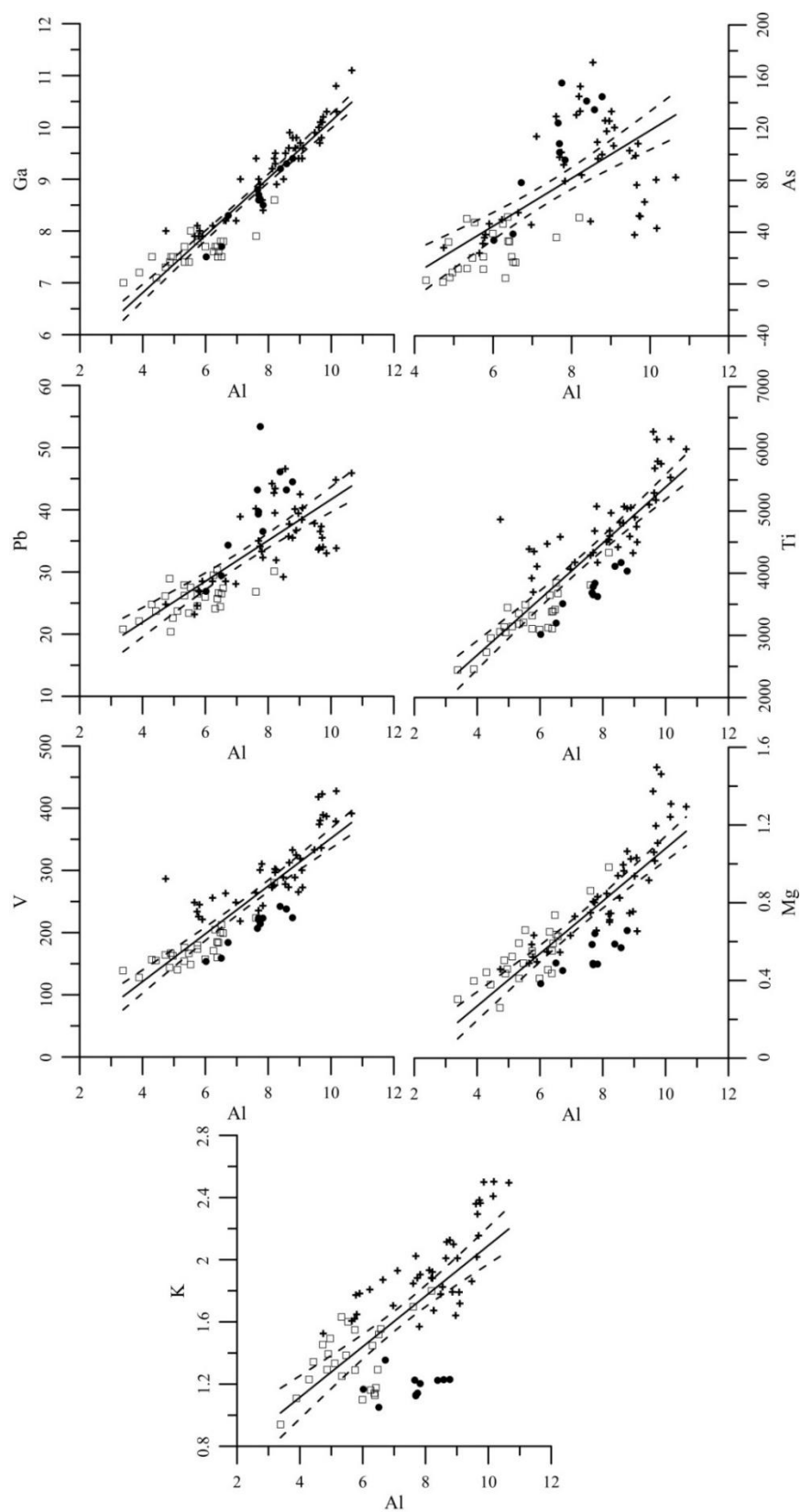


Figure 5: Al-normalized graphics to Ga, As, Pb, Ti, V, Mg. Aluminum and potassium concentrations are in percentage. Cross – unit 1; square – unit 2; and circle – unit 3.



Authorship: The Author (2017).

The cluster diagram shows two groups with sedimentary and geochemistry different characteristics and two isolated samples. The differences between the two groups were: Group 1 shows higher means of magnetic susceptibility, calcium carbonate contents, total organic matter, silt and clay percentages, and higher metal concentrations except for Cu and Ca and is represented, in general, by Units 1 and 3. Group 2, mainly represented by the Unit 2, shows sandy characteristics with low TOM contents and metal concentrations different of the Group 1. The two intervals show the different sedimentology and geochemistry characteristics of both groups (Figure 6 and Table 4).

Table 4: Cluster classification of units present in sedimentary core. SM – Magnetic susceptibility; CaCO₃ – calcium carbonate; TOM – total organic matter. **isolated samples.

	Group 1	Group 2	44-46**	0-2**
	Mean	Mean		
MS	14.8±9.9	7.7±2.6	8.0	0.0
CaCO ₃ *	11.7±2.8	6.6±1.8	5.2	20.0
TOM	5.1±1.5	2.0±0.6	1.3	11.5
Gravel*	0.0±0.0	0.0±0.0	0.8	0.0
Sand*	65.5±9.7	92.6±4.4	97.7	66.3
Silt*	30.3±8.6	6.6±3.8	1.5	29.9
Clay*	4.2±1.5	0.8±0.7	0.0	3.8
Mn	299.0±93.2	192.8±23.0	207.1	193.2
Fe*	3.2±0.9	1.5±0.3	1.4	2.1
Co	13.9±3.5	6.7±0.8	6.4	9.3
Ni	30.7±9.3	17.4±2.5	17.9	19.4
Cu	71.2±6.2	79.6±5.6	85.6	52.9
Zn	121.5±30.9	72.2±12.2	78.1	129.2
Ga	9.4±0.5	7.7±0.3	7.4	8.3
As	101.5±27.7	30.2±15.4	20.2	78.3
Pb	38.2±4.4	26.1±2.2	23.4	34.3
Ti	4749.9±573.9	3475.3±464.1	3207.4	3508.6
V	298.3±50.0	187.9±34.6	166.5	184.1
Mg	0.8±0.2	0.5±0.1	4886.0	4512.3
Al*	8.6±0.8	5.7±0.8	5.5	6.7
K*	1.9±0.3	1.4±0.2	1.4	1.4
Ca*	1.5±0.4	1.8±0.5	1.7	6.1

*values in percentages; **isolated samples

The tables 5 and 6 show the correlation between parameters analyzed in the sedimentary core.

Table 5: Pearson correlations to Group 1 between all parameters according the cluster classification. MS – magnetic susceptibility; CaCO₃ – calcium carbonate; TOM – total organic matter and Gr – gravel.

	MS	CaCO ₃ *	TOM*	Gr*	Sand*	Silt*	Clay*	Mn	Fe	Group1 Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Pb	Ti	V	Mg	Al	K	Ca
MS	1.0																					
CaCO ₃ *	0.2	1.0																				
TOM*	-0.5	0.0	1.0																			
Gr*	--	--	--	--																		
Sand*	0.4	0.2	-0.3	--	1.0																	
Silt*	-0.4	-0.2	0.3	--	-1.0	1.0																
Clay*	-0.2	-0.1	0.1	--	-0.7	0.6	1.0															
Mn	0.8	0.2	-0.6	--	0.3	-0.4	-0.1	1.0														
Fe	0.8	0.2	-0.4	--	0.2	-0.3	0.1	0.9	1.0													
Co	0.7	0.1	-0.4	--	0.2	-0.3	0.1	0.8	0.9	1.0												
Ni	0.8	0.2	-0.5	--	0.3	-0.3	-0.1	0.9	0.9	0.9	1.0											
Cu	0.3	-0.1	-0.3	--	0.2	-0.2	-0.1	0.1	0.0	-0.1	0.1	1.0										
Zn	0.2	0.1	0.1	--	0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	1.0									
Ga	0.6	0.1	-0.1	--	0.1	-0.2	0.2	0.6	0.9	0.9	0.8	-0.1	0.2	1.0								
As	-0.5	-0.1	0.7	--	-0.4	0.4	0.0	-0.6	-0.4	-0.4	-0.5	-0.4	0.2	-0.1	1.0							
Pb	-0.3	0.0	0.5	--	-0.4	0.4	0.4	-0.3	0.0	0.0	-0.1	-0.4	0.3	0.2	0.8	1.0						
Ti	0.7	0.1	-0.5	--	0.3	-0.4	0.0	0.8	0.9	0.9	0.9	0.1	0.0	0.8	-0.5	-0.2	1.0					
V	0.8	0.1	-0.5	--	0.3	-0.4	0.0	0.8	0.9	0.9	0.9	0.2	0.0	0.8	-0.5	-0.3	1.0	1.0				
Mg	0.8	0.0	-0.4	--	0.2	-0.2	0.1	0.8	0.9	0.8	0.9	0.2	0.0	0.8	-0.5	-0.2	0.9	0.9	1.0			
Al	0.7	0.2	-0.3	--	0.1	-0.2	0.2	0.7	0.9	0.9	0.8	0.0	0.3	0.9	-0.2	0.1	0.8	0.8	0.8	1.0		
K	0.7	-0.1	-0.3	--	0.3	-0.3	0.0	0.7	0.8	0.7	0.7	0.2	-0.2	0.7	-0.5	-0.3	0.9	0.9	0.9	0.6	1.0	
Ca	-0.7	0.0	0.3	--	-0.3	0.3	-0.1	-0.6	-0.8	-0.8	-0.7	-0.2	-0.1	-0.7	0.4	0.2	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7	-0.8	1.0

In bold (p<0.001; n = 43)

Table 6: Pearson correlations to Group 2 between all parameters according the cluster classification. MS – magnetic susceptibility; CaCO₃ – calcium carbonate; TOM – total organic matter and Gr – gravel

	Group2																					
	MS	CaCO ₃ *	TOM*	Gr*	Sand*	Silt*	Clay*	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Pb	Ti	V	Mg	Al	K	Ca
MS	1																					
CaCO ₃ *	0.0	1.0																				
TOM*	0.2	0.0	1.0																			
Gr*	0.1	0.0	-0.2	1.0																		
Sand*	-0.1	-0.1	-0.8	0.3	1.0																	
Silt*	0.1	0.1	0.8	-0.3	-1.0	1.0																
Clay*	-0.2	0.0	0.6	-0.4	-0.9	0.9	1.0															
Mn	0.0	0.2	0.4	-0.2	-0.5	0.5	0.5	1.0														
Fe	0.3	0.1	0.7	0.0	-0.7	0.7	0.5	0.3	1.0													
Co	0.3	0.0	0.7	-0.1	-0.7	0.7	0.5	0.4	1.0	1.0												
Ni	0.1	0.1	0.5	-0.1	-0.5	0.5	0.4	0.4	0.8	0.8	1.0											
Cu	0.3	0.4	-0.3	0.3	0.3	-0.3	-0.4	0.0	0.0	0.0	-0.1	1.0										
Zn	0.7	0.2	0.4	0.2	-0.3	0.3	0.1	0.2	0.5	0.5	0.3	0.3	1.0									
Ga	0.0	-0.1	0.8	-0.2	-0.8	0.8	0.8	0.4	0.8	0.8	0.6	-0.3	0.2	1.0								
As	0.1	0.1	0.7	-0.2	-0.7	0.7	0.6	0.4	0.6	0.6	0.4	-0.3	0.4	0.8	1.0							
Pb	0.2	0.1	0.6	-0.2	-0.6	0.6	0.5	0.2	0.6	0.7	0.5	-0.1	0.6	0.6	0.8	1.0						
Ti	-0.4	-0.2	0.5	-0.2	-0.7	0.6	0.8	0.4	0.5	0.5	0.3	-0.4	-0.2	0.8	0.5	0.4	1.0					
V	-0.3	-0.3	0.4	-0.2	-0.7	0.6	0.8	0.4	0.4	0.5	0.3	-0.4	-0.2	0.7	0.4	0.3	0.9	1.0				
Mg	0.1	-0.1	0.6	-0.1	-0.6	0.6	0.5	0.4	0.9	0.9	0.7	0.0	0.3	0.8	0.5	0.6	0.6	0.5	1.0			
Al	0.3	0.0	0.6	0.0	-0.7	0.7	0.6	0.4	0.9	0.9	0.7	0.0	0.6	0.7	0.6	0.7	0.5	0.5	0.8	1.0		
K	-0.4	-0.2	0.4	-0.2	-0.5	0.5	0.6	0.2	0.5	0.4	0.5	-0.4	-0.4	0.7	0.4	0.3	0.8	0.7	0.6	0.4	1.0	
Ca	0.0	0.4	-0.2	0.4	0.3	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.3	-0.1	-0.2	-0.5	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	1.0

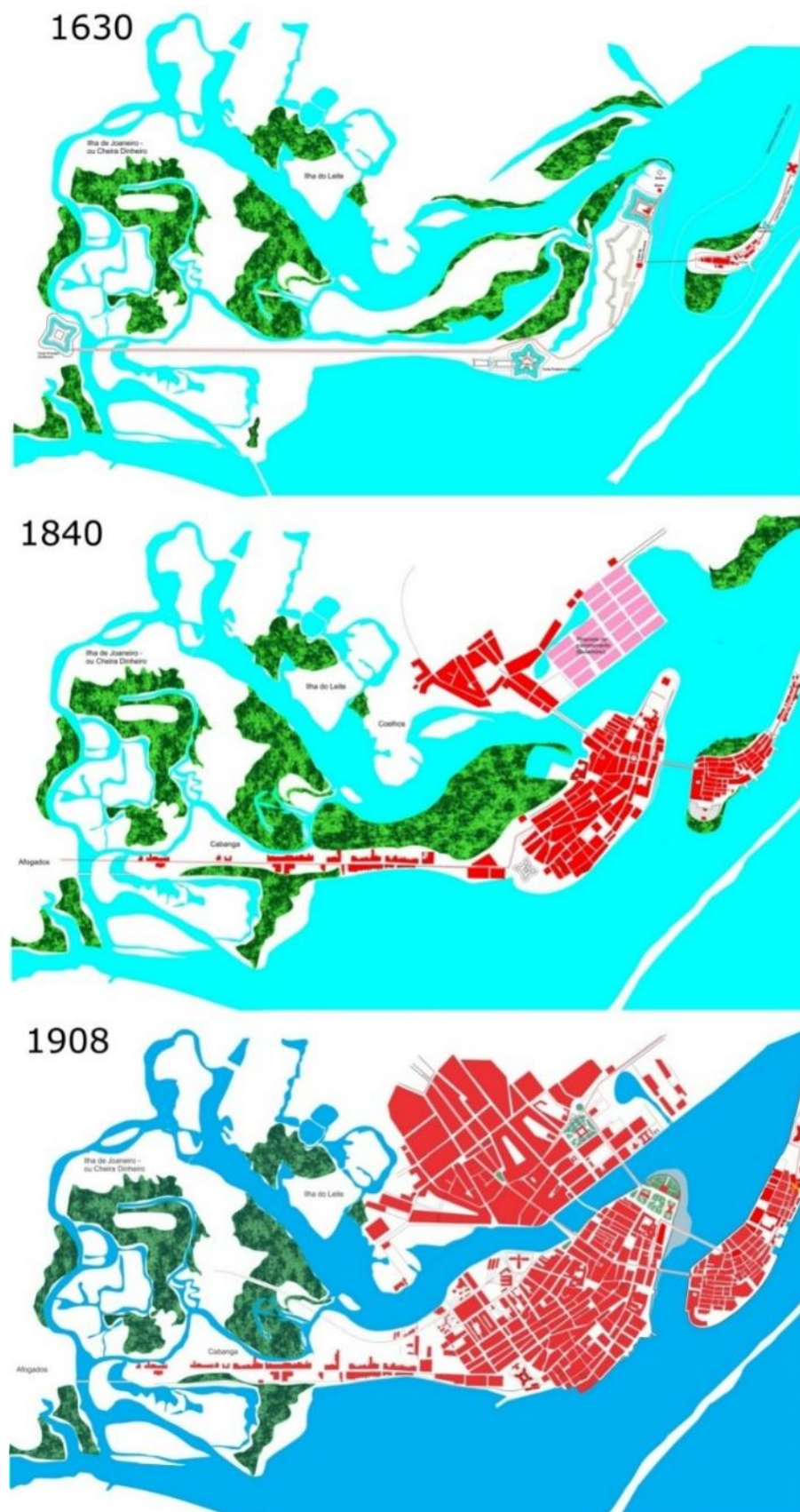
in bold (p<0.001; n = 34)

12.5 Discussion

The core registered the modification period of Capibaribe Estuary coastline, mainly, between the 19th and 21st centuries. Based on ²¹⁰Pb chronology, the layers of Unit 1 (72 – 158 cm) refers to a period that the lower Capibaribe Estuary (before 1812 to 1856), especially Pina Basin, was submitted to sedimentary processes with low anthropic influences. The variations registered in this unit indicate oscillations in the hydrodynamic pattern and/or different sediment sources to the estuarine complex (PERILLO et al., 2000) and it was registered at two layers. The first layer, in the Unit 1, registers fine sedimentation predominance, with grain size changing from coarse silt to very fine sand, higher total organic matter and calcium carbonate contents with means $5.6 \pm 1.2\%$ and 10.3 ± 1.6 , respectively. The second layer registers higher sand percentages (mean $83.7 \pm 4.7\%$) with fine sand predominance, and a slight decrease in TOM and calcium carbonate contents, showing means of $2.7 \pm 0.9\%$ and $9.7 \pm 4.4\%$, respectively.

The urbanization processes of Capibaribe Estuary began since 17th century, after the port construction. However, the first modification of coastline of lower Capibaribe Estuary occurred during Dutchmen permanence period in Recife (1634-1654) (VASCONCELOS; SÁ, 2011). The main modifications were the landfill constructions, dredging of main channel and the Recife Port built (Figure 7).

Figure 7: Urban space development of Recife City.



Authorship: José Luís da Mota Menezes.

During 18th century there is little information about the urban development, however it is known that the urbanization processes and the territorial expansion from the continent occurred during all century (PONTUAL, 2001). In 19th century, Recife showed a well-structured and most attractive such as in economic viewpoint, and this quality intensified the urban and industrial development in city (BARRETO, 1994). In 1810, Recife City houses 26.000 inhabitants, this contingent passed to 70.000 inhabitants in 1850 and around 112.000 in 1890. With this population growth, the city passed by some physical transformation in urban space well as landfill of flood land areas (mangrove and lowlands) for building of neighborhoods and streets. It is an important register that the first improvement of the Recife Port construction occurred in 1849, when the Nogueira dike was built. This building had aims to decrease the sandy inputs inside the port main channel and Pina Basin (PEREIRA, 2008) (Figures 7 and 8). Before these changes in the natural coastline, the lower Capibaribe Estuary, specifically Pina basin, could be considerable as a partially sheltered coastal bay characteristics.

Figure 8: Map of Recife City in 1771.



LEGEND

1 - Recife City; 2 - Beberibe River; 3 - Caparibe River
 4 - Capibaribe River South Bayou; 5 - Tejipió River
 6 - Pina River; 7 - Barreta das Jangadas; 8 - Pina Basin

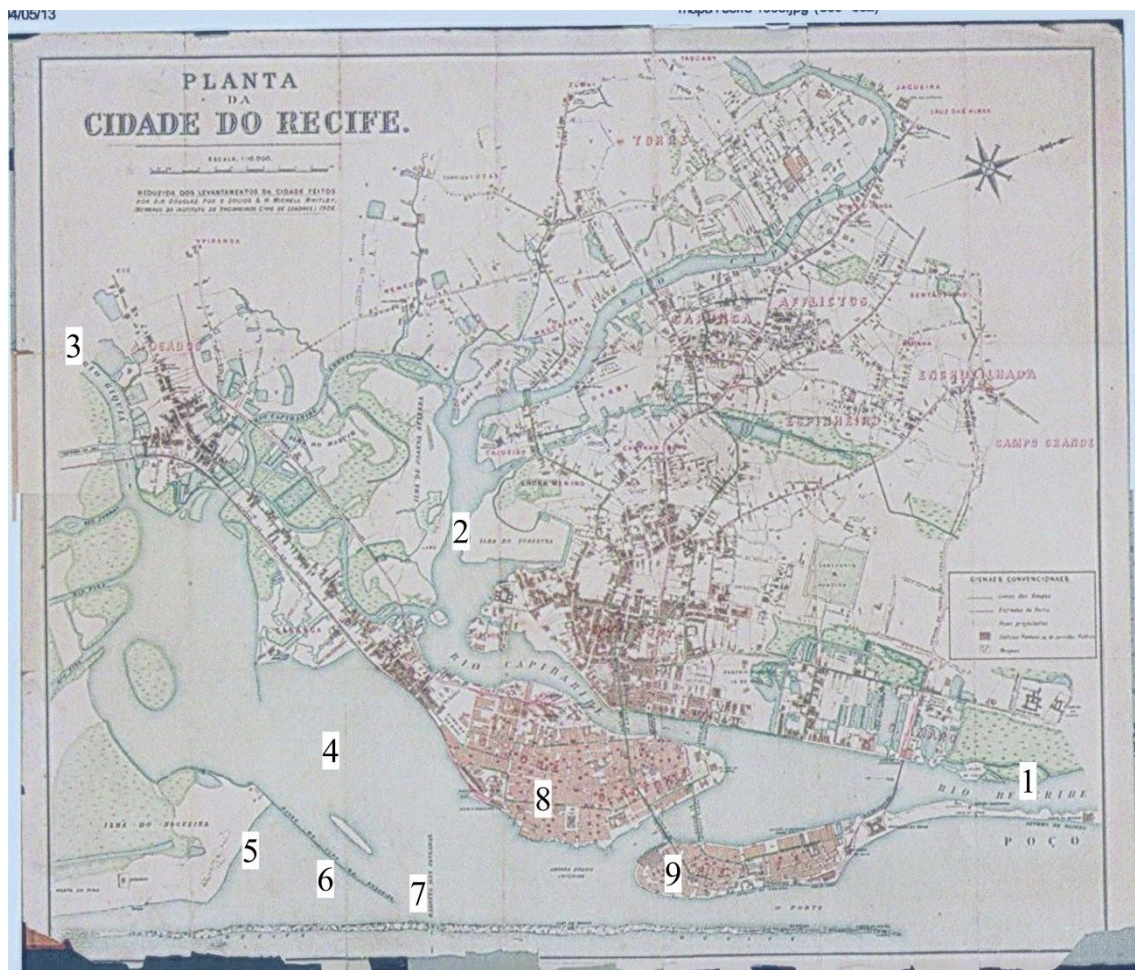
Authorship: Nacional Museum.

The metal concentrations in the Unit 1 may be considered as natural values to lower estuarine system. Higher concentrations of metals found in Unit 1 may be associated with sedimentary sources to estuarine system. The Barreiras sedimentary formation is the greater contributor of sediments to Capibaribe Estuary, and these sediments are rich in heavy metals (ALHEIROS; LIMA FILHO, 1991). CPRM (2005) points out the majority of Pernambuco State shows higher concentration of heavy metal

in sediments and rocks, explaining these Cu, Zn, As, Pb, Ti, V and Al values above of background values of Turekian and Wedepohl (1961) (see table 3).

The Unit 2 registers a higher sedimentation of sand, grain size varied from medium to coarse sand with coarse sand predominance, TOM and calcium carbonate contents show means of $1.8 \pm 0.5\%$ and 6.7 ± 1.7 , respectively. These values may be associated with the beginning of the physical coastline and bottom modifications by human interventions in estuarine system, since 1849. The physical coastline modifications of lower Capibaribe Estuary increased in the early 20th century (PEREIRA, 2008). The improvement of port constructions started in 1849 with Nogueira's dike built and finished in 1910, with building protection dike on beachrocks forming a triangular area next to Nogueira's Island. The Recife Port Gas Park would be built in this triangular area. For the construction of this Gas Park, in 1934, was performed a dredging work in Pina Basin and in a shallow area called Coroa dos Passarinhos, and this sandy material was used as landfill this area formed between the two dikes. Nowadays, it is known as Brasília Teimosa neighborhood (PEREIRA, 2008) (Figure 9).

Figure 9: Recife Map in 1909; 1 – Beberibe River; 2 –Capibaribe River; 3 – Tejiptó/Jiquiá River; 4 – Pina Basin; 5 – Nogueira Island; 6 – Nogueira's dike; 7 – Barreta das Jangadas; 8 – Antônio Vaz Island (modern São José neighborhood); 9 – Recife's Port



Authorship: Modified from Recife Prefecture Map.

Some factors should have contributed to sandy sediments accumulating in this unit. Firstly, the dike construction could induce in the current flux orientation changes, with closing of some channels accesses that connected the adjacent inner shelf with Pina Basin such as Barreta de Jangadas and the adjacent beach area. Second factor may be related with progradation of Coroa dos Passarinhos shoal as reflexes of the first anthropic changes in 1849, and possibly intensified with conclusion of second dike, in 1910. Probably, these modifications increase the tidal current velocities in the lower estuary allowing the observed coarse size sedimentation. Schettini et al. (2016b) registered maximum ebb current velocities of 0.68 m.s^{-1} to lower Capibaribe Estuary. These tidal

current velocities showed transport capacity for medium to coarse grain size of sand (DYER, 1995; IBÁÑEZ; PRAT; CANICIO, 1996).

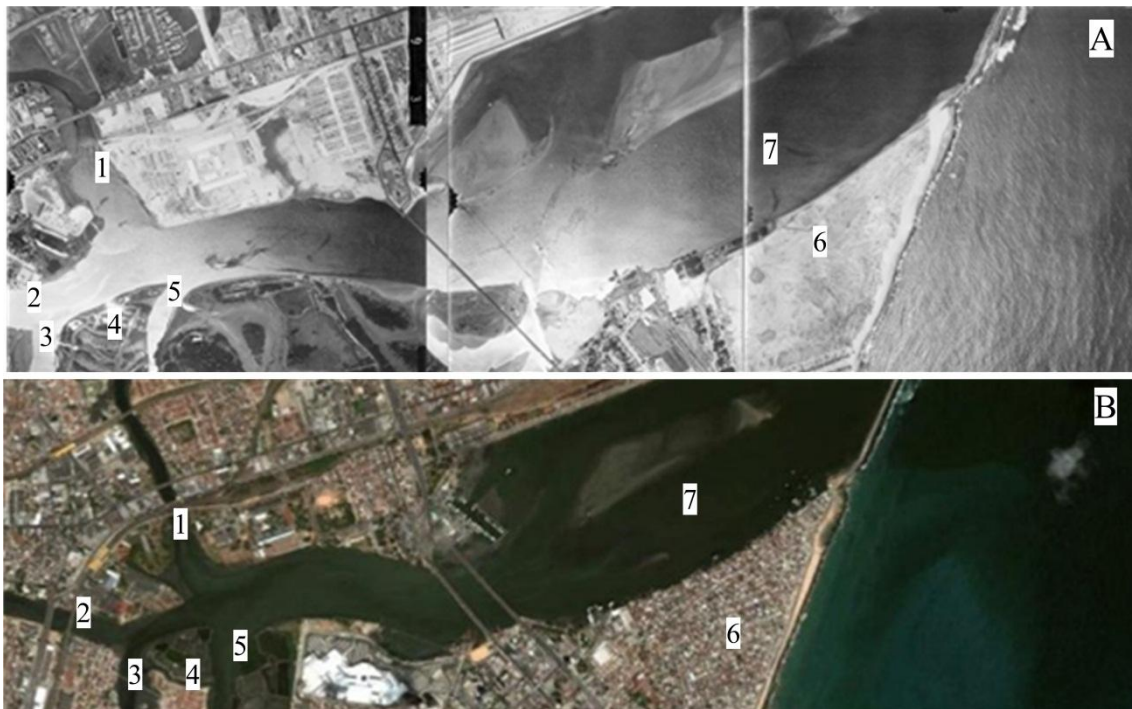
The higher sand deposition in this unit was a limiting factor in sedimentation of fine sediments, TOM and heavy metal concentrations (FÖRSTNER; AHLF; CALMANO, 1984; FÖRSTNER; WITTMANN, 2012). Although the Unit 2 registers changes the sedimentary characteristic, the heavy metal concentrations show slightly decrease for Cu, As and Pb elements, however they show even above the background values of Turekian and Wedepohl (1961). This could indicate that the fine fractions of Barreiras Formation present a greater influence in increase of metals concentrations in medium and lower Capibaribe Estuary. In fact, the Pearson's correlations indicate some significant high correlations between metals and magnetic susceptibility.

The Unit 3 registers the period of urban processes intensification in lower estuary. This unit show an increasing in fine sedimentation with grain size ranging from medium silt to fine sand with very fine sand predominance. The total organic matter values varied from 2.8% to 11.5%. This high TOM values on core-top may be a reflexes of increasing of domestic wastes in estuarine system by a non-planned population growth, mainly in Recife Port Gas Park area, nowadays Brasília Teimosa neighborhood. The Recife population registered around 520.000 inhabitants in 1950, and presently the city houses around 1.600.000 inhabitants (IBGE, 2010).

A conjunction of factors could have influenced the finer sedimentary characteristics of Unit 3. First, it would be associated with the intensification of deforesting mangrove area around estuary, caused by disordered occupation processes that begun in Brasília Teimosa neighborhood in 1958. Furthermore in occupation of De Deus Island, since 60's of 20th century, intensified the mangrove deforestation replaced

for a fish tank and shrimp farming areas (PEREIRA, 2008). These practices increase erosive processes in area and consequently the availability fine sediments in estuarine systems (SCHAEFFER NOVELLI, 1999) (Figure 10).

Figure 10: A) Air photo at 1950 of Pina Basin and B) satellite image at 2012 of Google Earth. 1 – Capibaribe River Bayou; 2 – Tejiptó River; Jordão River, 4 – De Deus' Island; 5 – Pina River; 6 – Port Gas Station area (modern Brasília Teimosa Neighborhood); 7 – Pina Basin.



Authorship: Modified from Google Earth and FINEPE

The second factor would be related with dredging activities in port's area. These modifications increased in deep the transversal section area of main Recife Port waterway channel. Thus these changes may have influenced in reduction of marine sediments inside estuarine system. The dredging of main channel caused a possible reduction in flow velocities and current energy in lower estuary, by mean of spreading and loss capacity current in area (OLIVEIRA et al., 2014). Consequently, these factors increased in concentrations of finer sediments, showing high sedimentation of very fine sand and increase in silt and clay percentages (26.1 ± 9.7 and 3.7 ± 1.5 , respectively).

The Third factor would be associated to other anthropic changes forms. Cavalcanti (2009) affirms that the urbanization changed the areas around to Pina Basin and this modification was caused by extensive landfill of flood areas, dredging of river, surface waterproofing and other mischaracterization form of environment. Maciel (1991) says that constant modifications in environment are capable to change the drainage and can affect the flood frequency, compromising principally mangrove ecosystems. These ecosystems show a great capacity of retention of total organic matter and finer sedimentation, and they are responsible by to attenuate the energy tidal hydrodynamics in margins. Lastly, the Capibaribe River south bayou probably is a great contributor of sedimentary material from Pina Basin, especially after 1950, when the Capibaribe River south bayou was rectilinear form.

These factors could have influenced directly in register of Unit 3; however, they are not possible to establish an individual register of each factor in this interval. Bell et al. (2000) affirm that anthropic activities could change sedimentary pattern of estuary such as erosion of margins and change of flow pattern, responsible by transport of sediments. Other factors can interfere in sedimentation patterns to lower estuarine system, as well as the port constructions and blockhouses, that are probably a great sediment trap. These buildings may attenuate the hydrodynamic energy of tidal currents, allowing the finer sedimentation. Dredging processes, vegetation deforested, building of streets and bridges around estuary are factors that also contribute to deposition of fine sediment and TOM in lower Capibaribe Estuary.

Organic matter peaks registered in core would be indicative of: 1) high primary productivity on estuary; 2) or greater availability organic matter from mangrove as registered in Unit 1; 3) or increase domestic wastes registered in Unit 3. The organic matter peaks reflect the increase in carbonate values, this may be associated with this

higher estuarine primary production, being possible to establish a direct relation between calcium carbonate and organic matter ($r=0.5$; $p < 0.001$; $n = 79$) (BOSENCE; WILSON, 2002). Therefore, the calcium in sedimentary core may indicate a high marine influence, specially, in Unit 1 probably because to the direct access of Ocean with Pina's Basin, beyond of the own contribution of carapaces associated with original benthonic organisms of the mangrove.

In general, the metal concentrations show a positive tendency in increase of concentration to the core-top direction, occurring increase in heavy metal concentration in Unit 3 when compared with Unit 2 (see table 2). The high sedimentation of TOM, silt and clay percentages favors in the increase of heavy metal concentrations (FÖRSTNER; WITTMANN, 2012) and these increases may be associated with intensification of industrial, domestics and agricultural activities (APRILE; BOUVY, 2010; CARMO; BOAVENTURA; ANGÉLICA, 2003). The Cu, Zn, As, Pb, V and Ca concentrations are also above background values of Turekian and Wedepohl (1961). However, the Zinc concentrations to Unit 3 recorded values below the background values observed by Brayner et al. (2003) and Silva, Macedo and Brayner (2010) in sediments of Mangrove's Park area. Two intervals, 90 and 132 cm deep in the core, registered increased in metal concentrations. These increases may be related to the natural input in the continental sources (BAPTISTA NETO; SMITH; MCALLISTER, 2000; ZHANG et al., 2007; BIRCH; OLMOS, 2008). Two peaks of Lead concentrations were registered in 1960 and 1990. In this interval marked the period of utilization of lead as gas additive (TAHUANA et al., 2012), being possible to register in sedimentary core of low Capibaribe Estuary.

The cluster diagram shows two groups with different characteristics. The Group 1 shows similarity levels between units 1 and 3, this result indicates that sedimentary and geochemistry characteristics are similar. Higher metal concentrations observed in Group

1 may be associate with Barreiras Formation as sedimentary material source, indicated by higher positive values of Pearson correlations between Fe, Co, Ni, Ga, Ti, V, Mg, Al ($0.6 < r < 0.9$) (FREIRE et al., 2004; AGUIAR et al., 2014). Correlations between Fe, As and Pb show moderate negative values ($r = -0.4$) and next to zero ($r = 0.1$), respectively, indicating different sources to lower estuary. The correlations between TOM, As and Pb show moderate and strong values ($0.5 > r < 0.7$) and low correlation ($r < 0.3$) with others elements, indicating that As and Pb show a better relationship with organic matter than fine fractions of sediments (see Table 5).

The stronger correlations between metals with Iron and Aluminum demonstrated that these elements are formatted by co-precipitate of oxide-hydroxide of iron and they are important in support geochemistry to area. The correlation with Aluminum indicates associations with clay mineral forms. Fe, Al and Mn oxides-hydroxides are important elements to coastal area, where occurs metal transformation such as autochthonous metal transformations (e.g. Pyrite) (CARVALHO; LACERDA, 1992; DE JESUS et al., 2004; MARQUES et al., 2011a).

The Group 2 was represented by Unit 2 according of Cluster analysis. This group shows stronger correlations between Fe, Ni, Ga, As, Pb, Mg and Al ($r > 0.6$), indicating probably a different sedimentary material source to this interval when compared with Group 1. The susceptibility magnetic showed a stronger positive correlation ($r > 0.6$) mainly in the Group 1, with Fe, Co, Ni, Ga, Ti, V, Mg and Al (see Table 6). These metals are magnetic elements that indicate the Barreiras Formation, as main sedimentary material source (ALHEIROS; LIMA FILHO, 1991). In the Unit 1 show two peaks of SM, carbonate and TOM next to base-core, these peaks may be associated with the diagenetic formation of iron carbonates increasing in susceptibility magnetic values (FROELICH et al., 1979; BERNER, 1981; YU et al., 2001).

In spite of cluster records indicate similarity between Units 1 and 3, the Al-normalized results demonstrate contamination levels for some metals, principally to Unit 3 of sedimentary core in lower Capibaribe Estuary. The contamination registers are well evidenced in Pb/Al, As/Al and Zn/Al ratios, showing the Unit 3 intervals above 95% of interval confidence. Din (1992) and Covelli and Fontolan (1997) propose that samples above 95% of interval confidence registered in Al-normalization are contamination points. The Pb, As and Zn are probably from residential effluents or runoff sources (ALOUPI; ANGELIDIS, 2001). The As/Al ratios indicate some interval above of 95% interval confidence, probably in this intervals occur a higher availability during the sedimentation. CPRM (2005) affirm that soils and rocks of Pernambuco State are composed by high concentrations of Arsenic in their composition. The strong correlations between As and Al ($r > 0.7$) indicate increases of natural metal concentrations, derived of erosion or lixiviation of Tertiary rocks, Barreiras Formation, that compounds the low lands of the drainage basin. Some intervals of Unit 1 show above the 95% interval confidence, probably their intervals may be related the natural input, because these intervals show low anthropic influence according sedimentation rates.

The Recife City registers some events of rainfall with flood records since the 1849 years (PONTUAL, 2001). Longer rainfall period may influence in local sedimentation rates, events of higher magnitude has competence to transport greater sediment quantities to river, estuary and ocean (TUCCI, 2002). In the Capibaribe estuarine sediments, three peaks of fine grain size, TOM, metal concentrations were registered in 4, 16 and 72 cm of deep in the core. According to sedimentation rate (0.45 cm.y^{-1}) these intervals may be referred the years of main floods associated to huge rainfall events occurred in 2010, 1975 and 1849, respectively.

12.6 Conclusions

The coastline modifications occurred in Recife city are an example of how the anthropic modifications can change the estuarine sedimentation patterns. In the core was identified three units with relatively particular sedimentary and geochemistry characteristics. The first unit recorded events that occurred before of the first anthropic intervention in the geomorphology of lower estuarine system, showing sedimentation of estuarine type and metals concentrations probably with natural values. The Unit 2 recorded an increasing in coarse sand percentage, decrease of fine contents, TOM percentages and metals concentrations. This pattern may be associated with the Recife's Port improvement building, by means of landfill of flood areas and geomorphologic modifications mainly in coastline of the estuarine system. These modifications probably intensified the local hydrodynamic and increased in the coarse sandy sedimentation.

The unit 3 recorded the increase in finer sedimentation, TOM percentages and heavy metal concentrations. These characteristics may be associated the conjunction of factors such as population growth, disorderly occupation, mangrove removed, intensification of landfill of flood areas and dredging of port main channel. These anthropic changes were probably responsible by the higher fine grain size, total organic matter sedimentation, and an increase in As, Pb and Zn concentrations in lower estuary.

According the Al-normalized Arsenic, Lead and Zinc showed contamination levels merely in core-top intervals. The increases in concentrations of these metals are associated with input of domestic and industrial wastes. The other elements do not show increase in their concentrations. As Recife City not show intense industrialization, the Barreiras Formation is possibly a great contributor in terrigenous sediments sources and metals to Capibaribe Estuary. Probably, greater contributions of sediments of the

Barreira's Formation sources may disguise some contamination of anthropic sources in estuary.

Three fine sediments and TOM peaks (4, 16 and 72 cm deep) were observed in core beyond of anthropic geomorphologic changes in coastline of lower estuary. These peaks reported possibly the climatic events associated with intense rainfall and floods that occurred in RMR in 2010, 1975 and 1849, respectively.

13 CHANGES OF ESTUARINE SEDIMENTATION PATTERNS BY URBAN EXPANSION: THE CASE OF MIDDLE CAPIBARIBE ESTUARY, NORTHEASTERN BRAZIL.

ABSTRACT

The aim of this study is to describe the sedimentary evolution occurred during last 200-years in the middle Capibaribe Estuary by mean of the sedimentary analysis (magnetic susceptibility, grain size, calcium carbonate, total organic matter - TOM) and geochemical parameters (sedimentation rates, heavy metal concentrations, enrichment and contamination factor) along of core. The core recorded four units. The first unit, dating before 1812, showed environment characteristics of mangrove with predominance of fine sediments, high total organic matter percentages and heavy metal concentrations probably of natural sources. The second unit, from 1812 to 1937, showed a slight increase in sand percentages and decrease in fine fraction, TOM contents and heavy metals concentrations. This characteristic may be associated with the urban expansion processes and the presence of monoculture of sugar cane occurred in the middle Capibaribe Estuary. The third unit, from 1937 to 2004, showed the highest sand percentages of core, characterizing a unit exclusively of sand with low fine fractions percentages, total organic matter contents and heavy metals concentrations. This unit represented the intensification of expansion urban processes of Recife City. The fourth unit showed increases in fine fraction sedimentation, TOM contents and heavy metals concentrations. This new change in sedimentation probably is consequence of rebirth of marginal estuarine banks by mangrove vegetation, due to environmental projects created by Recife Prefecture in 2000's. It was not possible to register the anthropic contamination to middle estuary area probably the Barreiras Formation influences in the metal concentration records, masking

the anthropic contamination inputs in estuarine region. Although, lead and arsenic showing an enrichment levels indicating anthropic contamination.

Keywords: sedimentary evolution, grain size, heavy metals, sedimentation rate.

13.2 Introduction

The estuaries are transition areas between continental and ocean interface and they are important environments in comprehension of the coastal areas development and prevision of future evolving tendencies (CUNHA; PINTO; DINIS, 1997). The sediments deposits are important because it could preserves the history of sedimentation in coastal environments (SANDERS et al., 2006). Estuarine sedimentation is a consequence of many conditions, such as the sediment source that may be from the river or marine origin (FRIEDMAN; SANDERS, 1978; LARGIER, 1993; UNCLES, 2002).

Historically, the coastal areas are attractive to human settlements, and these form bigger metropolises, that grew in disorderly manner (SARTORETTO, 2014). The urban and industrial development adjacent to estuarine areas may cause environmental imbalance, changing the water column chemical proprieties, sedimentation patterns, mangrove deforestation and typical forest areas, landfill of flood areas to urban expansion, building of dams, contamination of heavy metals and others (LACERDA et al., 2006). The studies with sedimentary columns are used to comprehension the environmental evolution in coastal areas. These sedimentary cores may provide historical records of sedimentation patterns in coastal systems, indicating the natural baselines and changes caused by anthropic modifications during the time (BUCKLEY; SMITH; WINTERS, 1995; LI et al., 2000).

Some parameters are employed to understand the environmental evolution such as sedimentological parameters as grain size, organic matter and calcium carbonate contents in coastal environments provide important information for paleoenvironmental reconstructions and may register the historical of the local and regional climatic changes (MEYERS, 1997). Variations in magnetic susceptibility have been used for detecting anthropogenic pollution caused by power plants, metallurgical dusts, fly-ashes and urban airborne particulates (HELLER; STRZYSZCZ; MAGIERA, 1998; HOFMANN; KNAB; APPEL, 1999; MARTINS et al., 2007) and heavy metal concentration is employing to identify natural or anthropic sources and contamination levels (BIRCH; DAVEY, 1995; ANDREWS et al., 1999; YU et al., 2001; CHATTERJEE et al., 2007; DELGADO et al., 2012; CHITRARASU et al., 2013). Finally, the use of radionuclides in coastal environments as sediment tracers offers considerable potential for determining sediment sources and sedimentation rates in drainage basins (WANDERLEY et al., 2014).

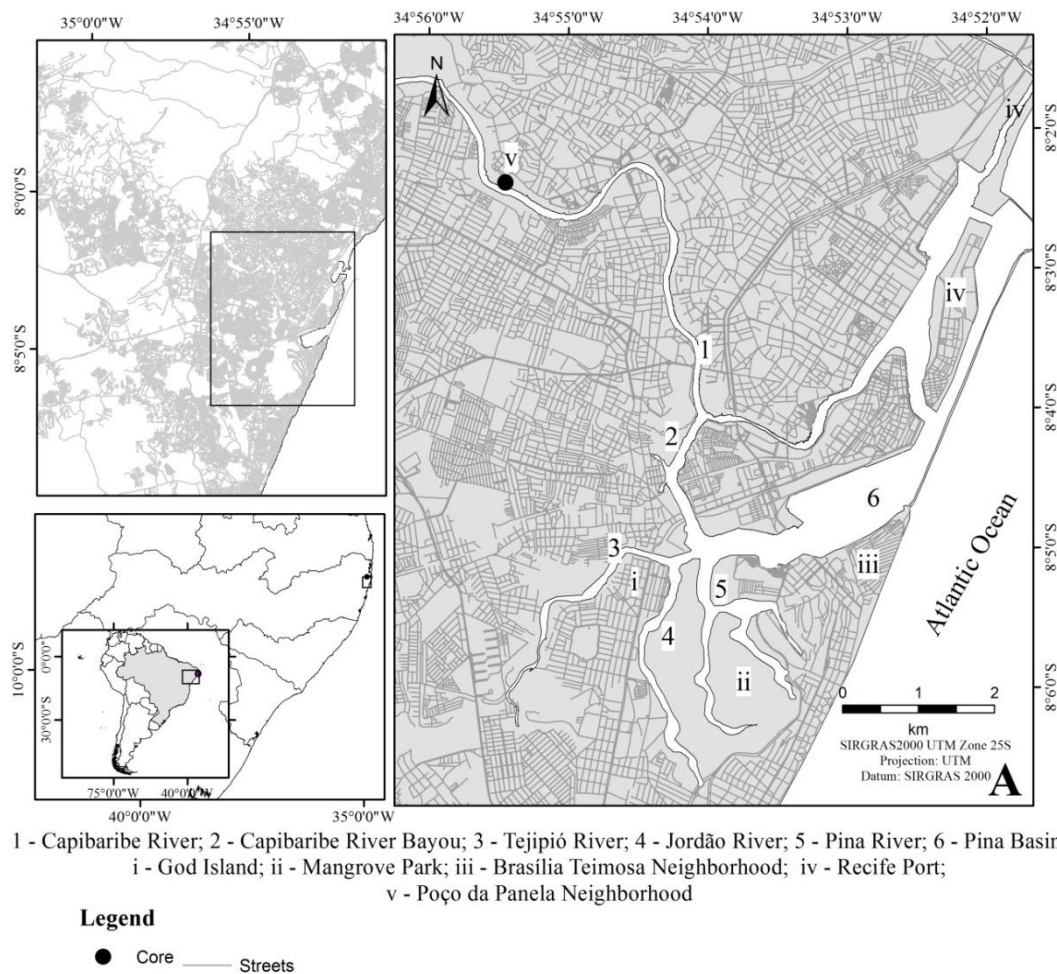
The anthropic induce changes occurs in Capibaribe River (8°S/35°W) since the start of colonization processes as such as coastline modification, dredging and landfill activities (PONTUAL, 2001). Currently, the Capibaribe Estuary is being polluted by different sources as well as fish and shrimp farming constructions, and discharge of industrial and domestic wastes and sewage (MACEDO et al., 2007; SILVA; MACEDO; BRAYNER, 2010). In this way, the aim of this study is to describe the sedimentary evolution occurred in the middle Capibaribe Estuary by mean of the sedimentary analysis and geochemical parameters along a sedimentary core.

13.3 Material and methods

13.3.1 Study Area

The Capibaribe Estuary is located in Recife City (8°S/ 35°W), Pernambuco State (Northeastern Brazilian). It is formed by the Capibaribe, Tejipió/Jiquiá, Jordão, Pina and Beberibe rivers. The Capibaribe Estuary has an important ecological function, serving as a reproduction area for mammals, birds, fishes and other organisms and also is the economic and social pole for the Recife Metropolitan Region (RMR) (MACEDO et al., 2007) (Figure 1).

Figure 1: Location map of the Capibaribe Estuary and the sedimentary core.



The Capibaribe River present 250 km of extension, from its source in Jararacá mountain chain to its mouth, draining 43 municipalities (AQUINO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2014), with a drainage basin of approximately 7.700 km². The river flow on crystalline rocks, and the tertiary and quaternary sediments being drained only in the Capibaribe River lower sector. Tertiary sediments are composed by fluvial sandy deposits, intercalated with muddy sediments. Quaternary sediments form the coastal plain, corresponding to estuarine and shallow marine sediments; fluvial sediments are presents along river margins (MANSO et al., 2006).

The climate of the RMR is characterized as humid and warm tropical, As' type according to Köppen classification, with higher rainfall periods between March and August and dry periods between September and February. The average rainfall is of 2,200 mm.y-1 and air annual temperature average of 25.2 °C (MANSO et al., 2006).

The RMR houses 3.7 millions of inhabitants, being approximately 1.5 million in Recife City and, from this number, about 218,000 inhabitants living in the middle Capibaribe Estuary. Recife City has a density population of about 7,000 inhabitants/km² (IBGE, 2010). The surrounding margins of the Capibaribe River present small and degraded mangroves and the Pina Basin houses an extensive mangrove area, with approximately 20 km², called Mangrove Park with registered *Rizhophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* e *Avicennia schaueriana* specimens. Despite its environmental importance, the Mangrove Park is being affected by real estate pressure, pollution and disorderly occupation (SILVA; MACEDO; BRAYNER, 2010).

According to Oliveira et al. (2014) and Oliveira (2014) the grain size of surface sediments vary from silt to gravelly sand, with a prevalence of fine sediments and sands for all Capibaribe Estuarine System. However, in the middle estuary the authors observed

a little change in type of sedimentation with fine fraction predominance. Concerning temporal variations, there is a slight tendency of increasing clays during periods of higher rainfall (OLIVEIRA, 2014).

13.3.2 Methods

A 178-cm deep core was collected in 27th November 2012, with the aid of a push-core operated by a scuba diving at the coordinates of 8°02'22.56"S and 34°55'27.12"W. After the core recovery, it was analyzed for magnetic susceptibility in a Bartington MS2C meter. The measurements were made with a $0.1 \cdot 10^{-5}$ S.I. resolution and readings were taken at 2 cm intervals (MARTINS et al., 2007). After that, the core was opened, described and continuously sub-sampled at intervals of 2 cm. Samples were dried at 50°C in order to be analyzed for grain size, organic matter and calcium carbonate contents, metal concentrations and determination of sedimentation rates by $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ activity.

Total calcium carbonate and organic matter were determined according the methods proposed by Carver (1971). The calcium carbonate was determined by weight difference of the sediment prior and after addition of hydrochloric acid (10%). The total organic matter was determined also by weight difference prior and after addition of hydrogen peroxide (10%), until total reaction. Both results are presented as percentages of the bulk sample.

Grain size was determined in a Malvern Mastersizer 2000 laser sedimentometer, after calcium carbonate and organic matter removal of samples. Results allowed the determination of the grain size statistical parameters proposed by Folk and Ward (1957) and sediment classification by Shepard (1954), by mean of the Sysgran 3.0 software (CAMARGO, 2006).

The sedimentation rate result followed radionuclide ^{210}Pb determination method described by Saito et al. (2001), that is based in ^{210}Pb half-live decay ($t_{1/2} = 22.3$ years) (PATCHINEELAM; SMOAK, 1999). The sedimentation rate value was calculated by CIC model (Constant Initial Concentration) (APPLEBY; OLDFIELD, 1978). A maximum time span of 200 years was considered for the age determinations (FIGUEIRA et al., 1998).

The metal concentrations were obtained by energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF). The method is a multi-elementary analysis that it is based in exciting of chemical element atoms of samples; the values of element concentrations were calculated according dispersion, detection and mensuration these X-rays (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2009). For metal analysis in sedimentary samples were used proximally 1 g of sediment in polyethylene tubes and were sealed with polyethylene film for EDXRF analysis. The results were measured in equipment ED-720 (Shimadzu) with rhodium X-ray tube and Si(Li) detector for characteristic element quantifications. For methodology certification was utilization two reference samples of National Institute of Standard and Technology (NIST) and of International Energy Atomic Agency (IAEA), SRM2709 San Joaquin Soil and IAEA-Soil7 respectively (Table 1). These soil reference were analyzed together the environment sediments and at time of 300 seconds. Cu, Co, Fe, Ga, La, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, Ti, V and Zn elements were used Mo filter and voltage adjusted at 50 kV and Al, Ca, K, and Si elements were measured with Al filter and voltage of 15 kV.

Table 1: Information Value (I.V) and Confidence Interval (C.I) for reference samples SRM 2709 and IAEA Soil 7 (mg.kg⁻¹).

Element	SRM 2709		IAEA Soil 7	
	I.V	C.I	I.V	C.I
Mg	1.4*	1.2 – 1.5*	11300	11000 – 11800
Al	2.6*	2.0 – 3.1*	47000	44000 – 5100
Si	< 0.01*	-	180000	169000 – 201000
P	0.07*	0.05 – 0.07*	460	460 – 462
K	0.32*	0.26 – 0.37	12100	11300 – 12700
Ca	1.5*	1.4 – 1.7*	163000	157000 – 174000
Ti	0.038*	0.03 – 0.04*	3000	2600 – 3700
V	62	51 – 70	66	59 – 73
Mn	470	360 – 600	631	604 – 650
Fe	3.0*	2.5 – 3.3	25700	25200 – 26300
Co	12	10 – 15	1.3	8.4 – 10.1
Ni	78	65 – 90	26	21 – 37
Cu	32	26 – 40	11	9 – 13
Zn	100	87 – 120	104	101 – 113
Ga	-	-	10	9 – 13
As	< 20	-	13.4	12.5 – 14.5
Br	-	-	7	3 – 10
Rb	-	-	51	47 – 56
Sr	101	100 – 112	108	103 – 114
Pb	13	12 – 18	60	55 – 71
Ba	398	392 – 400	159	131 – 196
La	-	-	28	27 – 29

*concentration values in percentages

To identify the anomalies and evolution of the heavy concentrations, geochemistry standardizations by conservative element were used as tool to evaluate the level of the anthropogenic contamination (BAPTISTA NETO; SMITH; MCALLISTER, 2000; KARAGEORGIS; KATSANEVAKIS; KABERI, 2009). There are two approaches to normalization of metals in sediment, the granulometric and geochemical methods (LORING, 1991). The geochemical normalization is necessary standardized with alithogenic conservative element (DIN, 1992; GROUSSET et al., 1999). Usually, Aluminum is used as lithogenic conservative element because it is a major constituent of fine-grained alumiosilicates (LORING, 1991) and its concentration is generally not influenced by anthropogenic sources (DIN, 1992; COVELLI; FONTOLAN, 1997).

There are some types of geochemical normalization such as Al-normalized, enrichment factor, geochemical index and contamination factor. In this study will be realized enrichment factor (EF) and contamination factor (CF).

According to Szefer et al. (1998), the enrichment factor (EF) is defined as follows:

$$FE = \frac{(C/Al)_{sample}}{(C/Al)_{background}}$$

Where C_{sample} is the trace element concentration in the sample, $C_{background}$ is the trace element concentration in base core, Al_{sampe} is the aluminum content in the sample, and $Al_{background}$ is the aluminum content in base core. The EF values were interpreted as the levels of metal pollution as suggested by Birch and Olmos (2008) where $EF < 1$ indicates no enrichment, < 3 is minor, 3-5 is moderate, 5-10 is moderately severe, 10-25 is severe, 25-50 is very severe and >50 is extremely severe.

The contamination level in sediments by metal is expressed in terms of a contamination factor (CF). According Hakanson (1980) theses values are calculated:

$$CF = \frac{C_{metal}}{C_{Background}}$$

Where, C_{metal} is metal concentration in sample and $C_{background}$ is the Earth's background or reference value of the metal analysis. The CF value is divided into four classes: $CF < 1$ – refers to low contamination; $1 \leq CF < 3$ – means moderate contamination; $3 \leq CF \leq 6$ – indicates considerable contamination and $CF > 6$ indicates very high contamination (SATAPATHY; PANDA, 2015).

13.4 Results

The sedimentation rate for core was 0.52 cm.y^{-1} , and according to the sedimentary and geochemistry characteristics there were four units. The first unit (106 – 178 cm) refers to period before 1812, this unit shows mean magnetic susceptibility values of 22.5 10⁻⁵SI, grain size varied from fine silt to very fine sand with predominance of coarse silt, low sand percentages (average 43.6%) and high silt and clay percentages (averages of 47.0% and 9.4%, respectively). The calcium carbonate percentages and TOM contents showed higher percentages with average of 11.8% and 8.5%, respectively, although the samples are siliciclastic (LARSONNEUR; BOUYASSE; AUFFRET, 1982). The Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Ga elements show low concentrations and Zn, Pb, Ti, V, Mg and Al high contents, when compared with background values of Turekian and Wedepohl (1961) (Table 2).

Table 2: Average concentrations of parameters analyzed to core of middleCapibaribe Estuary. SM – Susceptibility Magnetic; CaCO₃ – calcium carbonate; TOM – Total Organic Matter.

	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Turekian and Wedepohl (1961)
MS**	22.5±4.6	23.0±3.0	28.5±3.6	12.5±2.5	-
CaCO ₃ *	11.8±3.7	10.7±2.4	6.9±2.9	9.9±2.1	-
TOM*	8.5±3.2	8.7±2.4	6.6±2.9	7.1±0.6	-
Sand*	43.6±15.6	61.6±10.4	86.5±6.8	48.1±3.8	-
Silt*	47.0±12.5	31.7±8.4	11.4±5.8	45.4±4.2	-
Clay*	9.4±3.7	6.8±2.4	2.1±1.0	6.5±0.3	-
Mg*	0.7±1.1	0.6±0.1	0.5±0.1	0.5±0.1	1.5
Al*	10.8±1.5	11.1±0.6	8.9±1.3	8.8±0.1	8.0
Ti	4685.0±398.7	4770.7±305.6	4264.3±326.2	4257.4±176.3	4600
V	290.4±24.7	298.1±24.0	267.4±29.3	255.0±21.6	130
Mn	438.4±100.3	349.4±35.8	320.7±50.9	313.7±18.0	850
Fe*	3.9±0.7	3.8±0.5	2.8±0.6	3.1±0.4	4.7
Co	15.8±2.9	16.7±2.8	11.7±2.4	13.1±2.3	19
Ni	28.9±3.6	23.1±2.4	19.6±2.6	277.2±260.1	68
Cu	50.8±9.1	29.9±14.2	22.9±9.8	36.8±22.0	45
Zn	157.0±33.0	156.9±27.2	116.7±28.6	138.7±22.2	95
Ga	10.9±1.0	10.8±0.6	9.5±0.7	9.7±0.4	19
As	288.4±74.4	224.6±33.4	118.8±44.5	120.6±15.3	13
Pb	90.1±18.1	74.5±9.0	49.2±10.7	48.9±2.3	20

*values in percentage; other elements in mg.kg⁻¹;

**10⁻⁵ S.I.

The Unit 2 (42 – 106 cm), refers to the period from 1812 to 1937, shows average MS values of 23.0 10⁻⁵SI. This interval is represented by sandy characteristics, grain size varying from medium silt to very fine sand with very fine sand predominance. This unit registered a slightly increase in sand percentages (average of 61.6%) and light decrease in silt and clay percentages (averages of 31.7% and 6.8%, respectively) when compared with the Unit 1. The calcium carbonate percentages and TOM contents show averages of 10.7% and 8.7%, respectively. The Unit 2 showed the same patterns in heavy metal concentration of Unit 1, when compared with background value of Turekian and Wendepohl (1961) (see Table 2).

The Unit 3 (4 – 42 cm), refers to the period from 1937 to 2004, shows average MS values ($28.5 \cdot 10^{-5}$ SI). This interval presents sandy characteristics, however is slightly different from Unit 2, mainly because its mean diameter. This unit showed grain size varying from very fine sand to medium sand with predominance of fine sand. Sand, silt and clay percentages records averages of 86.5%, 11.4% and 2.1%, respectively. The calcium carbonate percentages and TOM contents show averages of 6.9% and 6.6% respectively. The heavy metal concentration showed lower levels, when compared with Units 1 and 2. However, the Zinc, Arsenic and Aluminum concentrations show indexes above the background values from Turekian and Wedepohl (1961) (see Table 2).

Lastly, the Unit 4 (0-4 cm), refers the period from 2004 to 2012, showing the lowest averages of MS values of units with $12.5 \cdot 10^{-5}$ SI. This unit presents a silty character, with grain size classified as coarse silt. This unit shows sand, silt and clay percentages averages of 48%, 45% and 6%, respectively. The calcium carbonate percentages and TOM contents record averages of 10% and 7%, respectively. This unit shows a lightly decrease in heavy metal concentration when compared with Unit 1, showing concentrations below of Turekian and Wedepohl backgrounds (1961) (see Table 2).

The vertical variation records MS, TOM, calcium carbonate, sand, silt and clay percentage and heavy metal concentration peaks along of core are represented by the figures 2 and 3.

Figure 2: Vertical variation Shepard (1954) facies diagram classification, mean diameter, magnetic susceptibility, calcium carbonate and total organic matter contents.

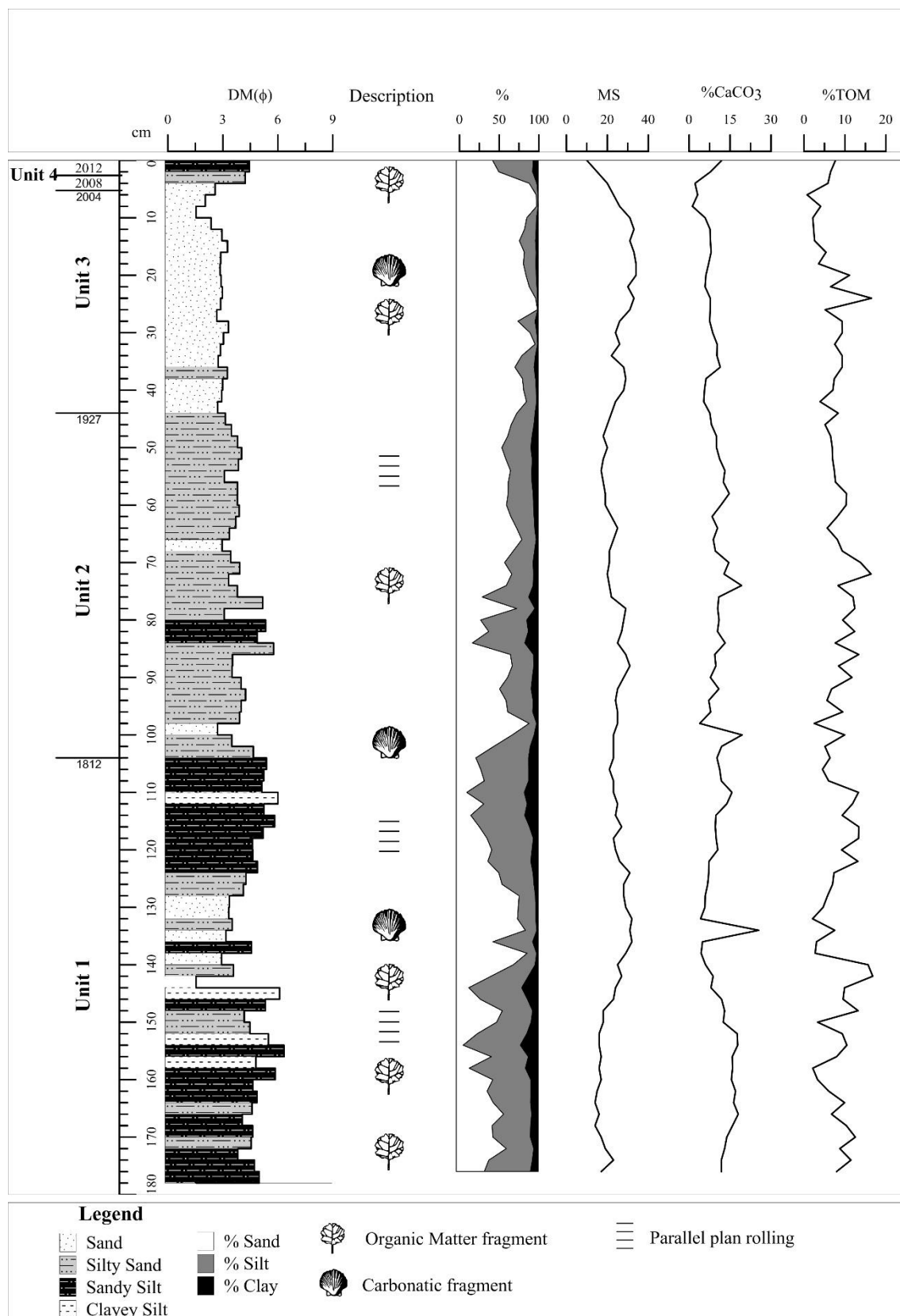
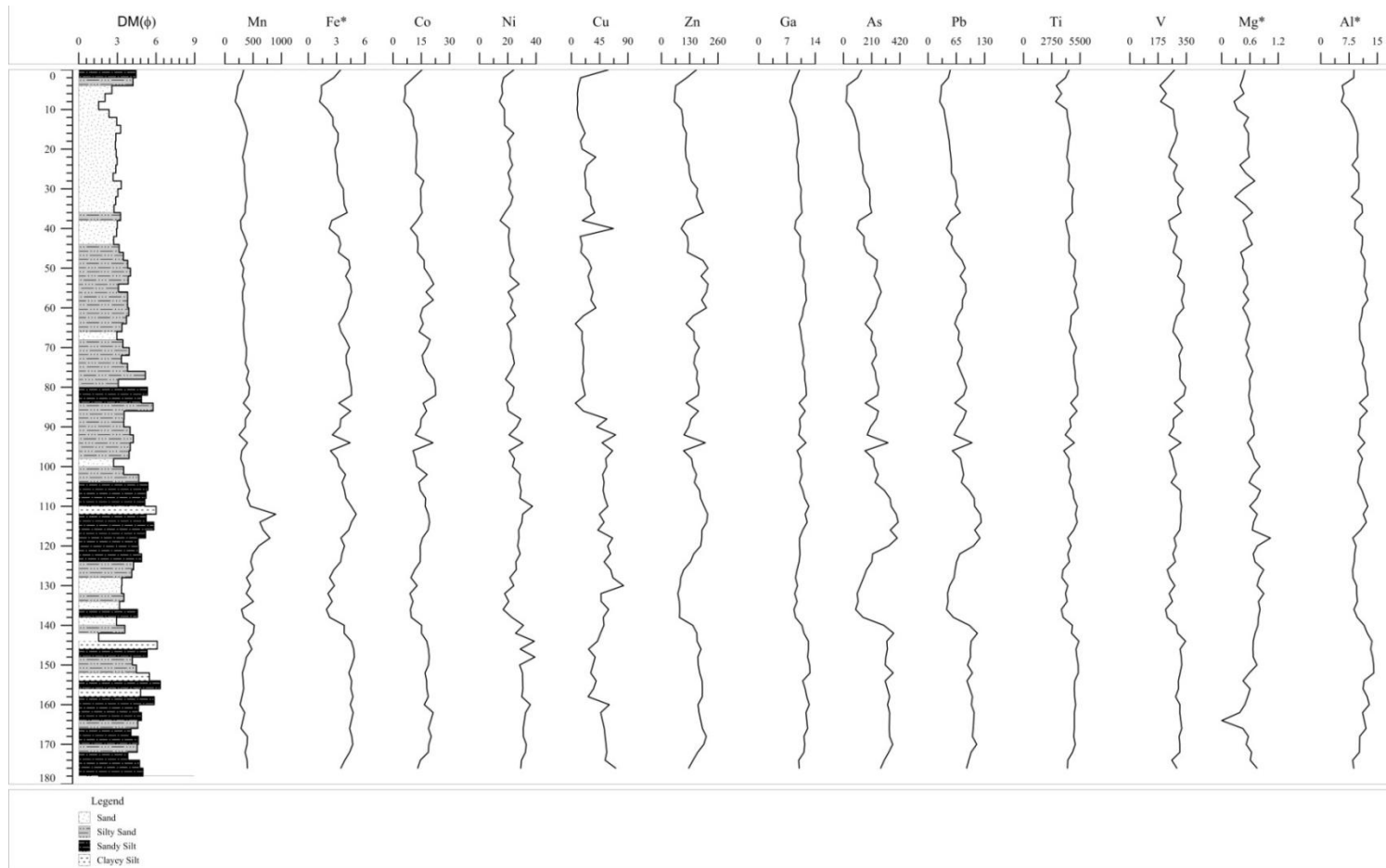


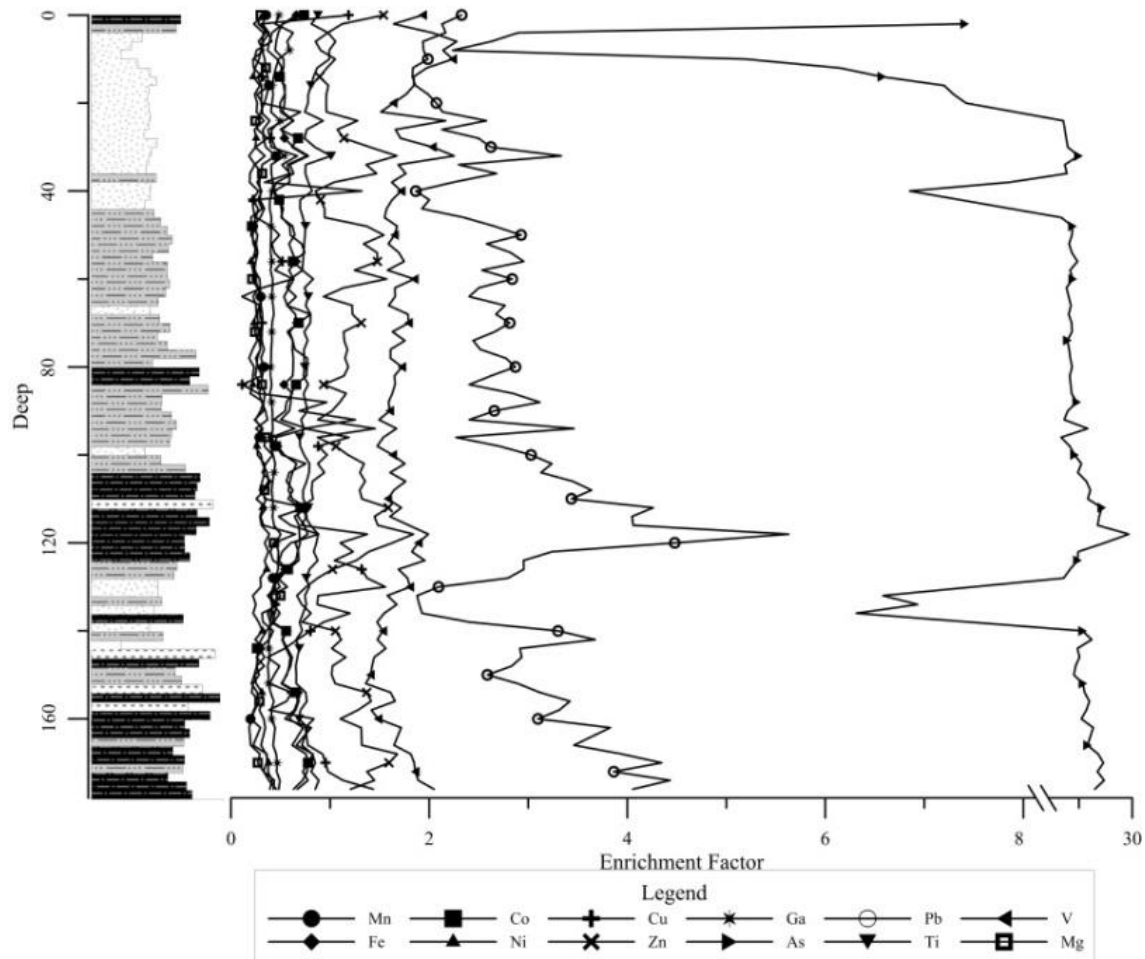
Figure 3: Vertical variation of metal concentrations in sedimentary core.



Authorship: The Author (2017).

The enrichment factor (EF) (SZEFER et al., 1998) show no enrichment values to Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Ga, Ti, Mg with $EF < 1$. Zn, Pb and V show values of lower enrichment with $EF < 3$, and As shows moderate and moderately severe enrichment factor values higher enrichment with $5 < EF < 25$ (Figure 4).

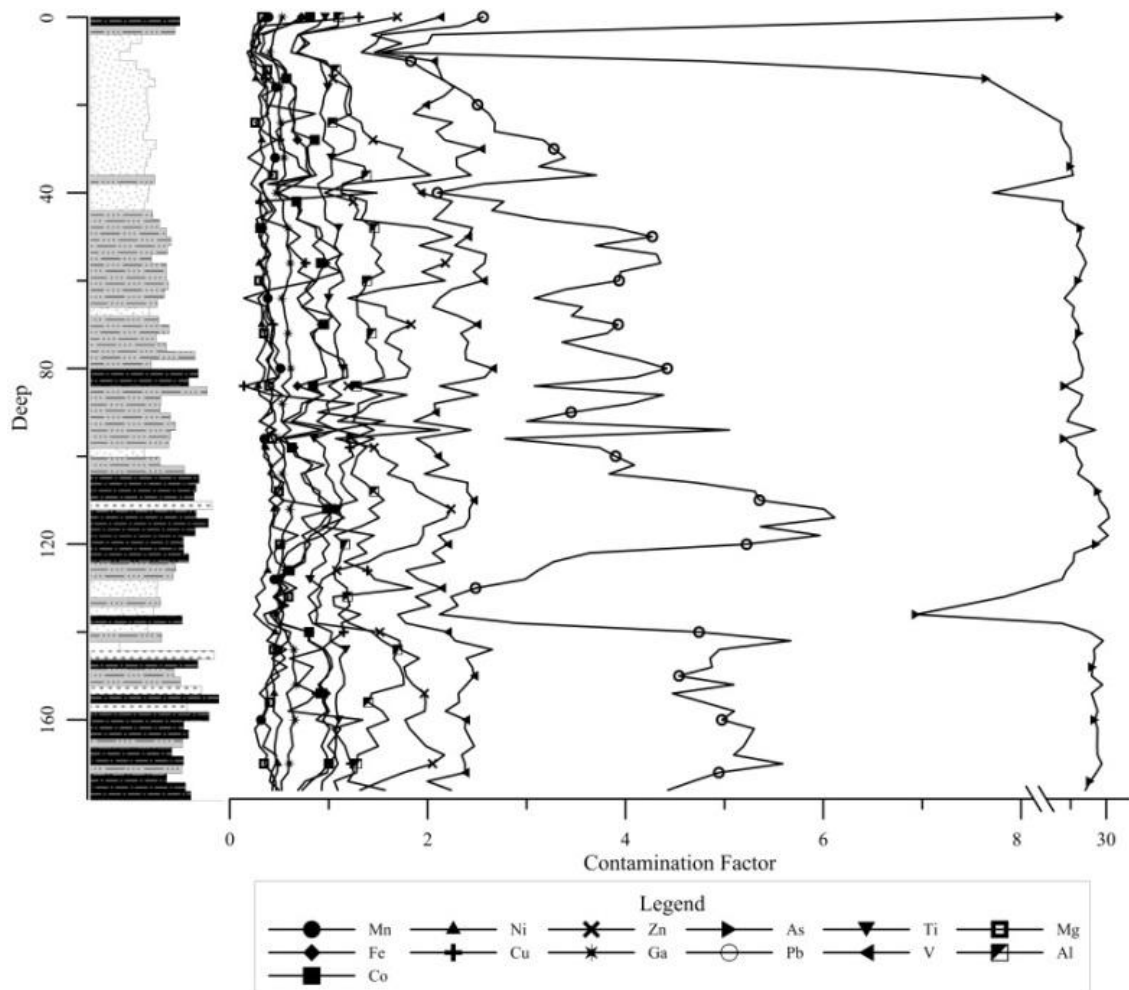
Figure 4: Vertical variation of enrichment factor to sedimentary core.



Authorship: The Author (2017).

The contamination factor (HAKANSON, 1980) values show lower contamination to Mn, Fe, Co, Cu, Ga with $CF < 1$. Ni, Zn, Ti, V and Al show moderately contamination with $1 \leq CF \leq 3$. The Pb and As show considerable contaminated ($3 \leq CF \leq 6$) and higher contaminated ($CF > 6$), respectively (Figure 5).

Figure 5: Vertical variation of contaminant factor to sedimentary core.



Authorship: The Author (2017).

13.5 Discussion

The sedimentary characteristics in cores may be associated with the development of the urban processes. Anthropic changes around rivers, estuaries or beaches are responsible by natural imbalance of the coastal systems as well as the interference in transport of sediments and organism cycles (CUNHA; PINTO; DINIS, 1997). The units registered for core demonstrate influences of different events in sedimentation patterns to middle Capibaribe Estuary.

The Unit 1 recorded the finer sedimentation, TOM and metals, with some peaks of sandy sedimentation at 130, 134 and 142 cm of the core-deep. This unit shows probably the estuarine mangrove environment characteristics, with variation in the hydrodynamic energy represented by the sand peaks. Other evidence that corresponds the mangrove environment is associated with high TOM contents (from 2.1% to 15.6%) (ALONGI, 1990; PRASAD; DITTMAR; RAMANATHAN, 2010). Calcium carbonate peaks registered in this unit may be associated with high productivity of organisms with carapace carbonate present in mangroves (LANA; COUTO; ALMEIDA, 1997; BOSENCE; WILSON, 2002;). Probably, the metal concentration values are from natural sources, associated with the local/regional inputs from the Barreiras Formation (ALHEIROS; LIMA FILHO, 1991; ALOUPI; ANGELIDIS, 2001; APRILE; BOUVY, 2008, 2010).

The historic of urban occupation of middle Capibaribe Estuary according to Barreiro (2002) began with the Poço da Panela, the neighborhood area located in this area. It was a small village founded in 1758 and its accesses to village were made in tracks inside the Atlantic forest. The urban development in the Poço da Panela started 1812, with open of streets and hills. In this time, take river bath was the recommendation

medical to cure of diseases, and the Poço da Panela was chosen as a local exclusive for high society of Recife.

Surrounding the middle Capibaribe Estuary, there were big farms of sugar cane plantation as Casa Forte and Madalena mills. The monoculture of sugar cane was the mean economy product of the colonial Pernambuco province (BARROS; LEITE, 2004; BORBOREMA; ANDRADE; SÁ, 2011). Because of medical recommendation, the urbanization processes of Poço da Panela was intensified by the building of summer houses at margins of Capibaribe River, changing urban space in this estuary area as registered in the Unit 2.

The Unit 2 shows an increasing in sand percentages and decreasing in silt and clay contents. Probably these characteristics are associated with mangrove deforestation specifically in the margins of Capibaribe River caused by the urban expansion of Recife City westward. Furthermore, mangrove deforestation associated to the sugar cane mills installations also may have been the greater contributor in the increase of sand percentage. The monoculture of cane sugar was responsible by to deforest the majority part of Atlantic Forest located around of Capibaribe estuary, facilitating the erosion and increasing the sediment transport from continental and margins to the river causing silting processes (FREYRE, 2004; SILVA, 2007). The urban processes intensification occurred during 19th and 20th centuries, mainly with arrival of Englishman and German, that were employees of the utility companies and preferred to live in this area (BARREIRO, 2002; BARROS; LEITE, 2004) (Figure 6).

Figure 6: Poço da Panela village in 1847. The Capibaribe River margins were without mangrove vegetation.



Authorship: Unknown Author.

In this unit (Unit 2) shows a decrease in averages of metal concentrations when compared with Unit 1 (see Table 2). Probably this is associated with greater the sand percentages in sedimentation and decrease in the clay percentages (ALOUPI; ANGELIDIS, 2001; LIAGHATI; PREDA; COX, 2003). Pettijohn (1975) affirms that clays adsorb four times more organic matter and metals from sands, and two times more from silts. Aprile and Bouvy (2008) also affirmed that increases in the metal concentrations are associated with high depositions of finer sediments or inputs in the metal concentrations of natural and/or anthropic source. How Recife City shows a small industrialization processes, this peaks observed in Unit 2 are possibly inputs of natural material from Barreiras Sedimentary Formation present around of all estuarine area (ALHEIROS; LIMA FILHO, 1991; PONTUAL, 2001).

The Unit 3 shows the highest increase of sand percentage of the core. The Capibaribe Estuary recorded the intensification of urban development in mid-19th century.

The increase of the buildings together with the population growth were responsible by the cause of the most changes in around the middle estuary, such as landfill of flood areas, the intensification of mangrove deforestation and canalization of some rivers that compound the hydrographic basin of Capibaribe River estuarine portion (BARREIRO, 2002; PONTUAL, 2001). During the 19th century, the urbanization turns its back to the river, and thus, the Capibaribe River passed to be the city's dumping area, receiving all industries and domestics wastes (CESÁRIO, 2006; MELO, 2005). During this period the Recife City did not show intensification in industrial processes. Therefore, the decrease in metal concentrations recorded in Unit 3 may be associated the greater sedimentation of sand (averages of 86.5%) and decrease in silt and clay percentages and TOM (11.4%, 2.1% and 6.6%, respectively).

Other important fact is that the Recife's prefecture realized a reforestation project of mangrove vegetation in Capibaribe River margins at the mid-90s and in began 20th century. In this period was registered an increase in mangrove vegetation of approximately 14.2 km² (analyzing the period from 1999 to 2006) and 12.6 km² (analyzing period from 1997 to 2007) according Melo et al. (2011) and Santos (2011) to middle Capibaribe Estuary, respectively.

This project of Recife's prefecture showed great results well as observed by Santos (2011) and Melo et al. (2011), being observed in sedimentary core of middle estuary represented by Unit 4. This unit showed increases in silt and clay percentages (averages of 45.4% and 6.5%, respectively) when compared with unit 3, a layer highly sandy (averages of 11.4% and 2.1%, respectively). In Unit 4, the increases in fine sedimentation are associated possibly with progradation of the mangrove areas located in margins of Capibaribe River as well as the TOM contents increasing and metal concentrations (see Figure 2).

According to the graphic of enrichment factor (EF) and contamination factor (CF), the majority of metals do not show high levels of enrichment and contamination (Figures 5 and 6). Only Pb and As showed enrichment and contamination levels. According Baptista Neto, Smith and McAllister (2000), Zhang et al. (2007) and Birch and Olmos (2008), rich rocks in heavy metals in its composition may mask the enrichment and contamination level. In case of Capibaribe Estuary, the Barreiras Formation is a great contributor of metal source (ALHEIROS; LIMA FILHO, 1991).

Freire et al. (2004), Aguiar et al. (2014) and Xu et al. (2014) affirmed that the strong correlations between metals with Fe and/or Al possibly represent same metal source. In case of middle Capibaribe River, the metal concentrations to estuarine system may be from Barreiras Formation such as principle source. The anthropic sources also may be registered in this metal concentrations, however this anthropic contribution do not show clearly along of sedimentary core. The correlation values between the metals demonstrated this same metal source for middle Capibaribe Estuary, confirming the Barreiras Formation influence in sedimentation (Table 3).

CPRM (2005) affirm that soils and rocks of Pernambuco State are composed by high concentrations of Arsenic in their composition. The strong correlations between As and Al ($r > 0.7$) indicate increases of natural metal concentrations, derived of erosion or lixiviation of Tertiary rocks, Barreiras Formation, that compounds the low lands of the drainage.

Table 3: Pearson correlation values registered to all parameter analyzed to sedimentary core.

	MS	CaCO ₃	TOM	Sand	Silt	Clay	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Pb	Ti	V	Mg	Al
SM	1.0																		
CaCO ₃	-0.5	1.0																	
TOM	-0.1	0.3	1.0																
Sand	0.4	-0.5	-0.3	1.0															
Silt	-0.4	0.5	0.3	-1.0	1.0														
Clay	-0.4	0.5	0.2	-0.9	0.9	1.0													
Mn	0.1	0.1	0.5	-0.4	0.4	0.3	1.0												
Fe	-0.5	0.6	0.5	-0.6	0.6	0.6	0.4	1.0											
Co	-0.4	0.6	0.4	-0.6	0.5	0.6	0.3	0.9	1.0										
Ni	-0.3	0.1	0.0	-0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0									
Cu	-0.1	0.1	0.1	-0.3	0.4	0.2	0.3	0.1	0.0	0.2	1.0								
Zn	-0.6	0.6	0.4	-0.6	0.5	0.6	0.4	0.9	0.8	0.1	0.1	1.0							
Ga	-0.5	0.6	0.4	-0.6	0.6	0.6	0.2	0.9	0.9	0.0	0.1	0.9	1.0						
As	-0.5	0.6	0.4	-0.7	0.7	0.7	0.5	0.9	0.8	0.0	0.4	0.9	0.8	1.0					
Pb	-0.5	0.5	0.4	-0.7	0.7	0.7	0.5	0.9	0.8	0.0	0.4	0.8	0.8	1.0	1.0				
Ti	-0.4	0.6	0.4	-0.5	0.5	0.6	0.3	0.9	0.9	0.0	-0.1	0.8	0.9	0.7	0.7	1.0			
V	-0.3	0.5	0.4	-0.4	0.4	0.5	0.3	0.9	0.8	0.0	0.0	0.8	0.9	0.7	0.7	0.9	1.0		
Mg	0.2	0.0	0.1	-0.3	0.3	0.2	0.5	0.0	0.0	-0.1	0.5	0.0	0.0	0.2	0.3	-0.1	0.0	1.0	
Al	-0.4	0.5	0.3	-0.5	0.4	0.6	0.1	0.8	0.8	-0.1	0.0	0.7	0.9	0.7	0.7	0.9	0.8	0.1	1.0

-bold values (p<0.001; n=87)

Correlations between metals and calcium carbonate could be related to the origin of carbonate that it diagenetics. These diagenetics processes occur in zones of shallow sub-bottom layers, presence of metabolizable organic matter, oxide and hydroxide (principally iron and manganese), oxygen and sulfate ions concentrations dissolved in pore water (COLEMAN; RAISWELL, 1993; MORAD; KETZER; DE ROS, 2000) associated to the bacterial action (CURTIS, 1987). Froelich et al. (1979), Berner, 1981 and Yu et al. (2001) affirm that the carbonate diagenetic formation may occur in any layer during sedimentation processes, depending of the available organic matter. This relation may be observed in correlation values between Iron and calcium carbonate and total organic matter (r=0.6) (see Table 3).

Xavier et al. (2016) observed finer sedimentation and TOM peaks associated with occurrence of floods registered in Recife to the lower Capibaribe Estuary. In case of middle estuary is not possible to identify finer sedimentation associated with flood

registers. It is believed that the suspended sediments by rains transport is deposited mainly in the middle estuarine, registering a prevalence of fine sedimentation.

13.6 Conclusions

The modification of urban space changed the sedimentations pattern in the middle Capibaribe Estuary. The core registered four units with different sedimentary and geochemistry characteristics. First unit (Unit 1), represent ages before 1812 year, showed mangrove environment characteristics with predominance of fine sediments, high total organic matter contents and heavy metal concentrations possibly from natural sources.

The second unit (Unit 2), from 1812 to 1937, showed a small influence of sand characteristics with slightly decreases in the fine fraction percentages, TOM contents and heavy metals concentrations. This increase in sand percentages may be associated with the beginning of urban expansion processes in the middle estuary, together with intensification of monoculture of sugar cane. These two processes were responsible by majority of the Atlantic Forest deforesting, increasing the lixiviation and the transport of sandy sediments from the margins to the river.

Third unit (Unit 3), from 1937 to 2004, showed the highest sand percentages of the sedimentary core, characterizing an exclusive sandy unit with low fine fractions percentages, total organic matter contents and heavy metals concentrations. This unit represents the intensification of urban processes expansion of Recife City. Increases in landfills of flood areas, deforesting of mangrove areas together with intensification of building processes were the main factors that contributed in the increase of sand sedimentation in estuarine system.

Lastly, the fourth unit (Unit 4) showed increases in finer sedimentation, in TOM contents and heavy metals concentrations. The environment improvement projects for Capibaribe River, in late 20th and early 21st centuries, were responsible by the reforesting of mangrove marginal areas of the Capibaribe River. These projects showed great results in increase of mangrove areas and these progradations could be observed in the mud increasing of this unit of sedimentary core.

Although all modifications that occurred since the 18th century, the Capibaribe River was not possible to register clearly the anthropic contamination to middle estuary area. The metal concentration records may have been influenced by Barreiras Formation, which is rich in heavy metal concentrations and surround the estuarine area. And this way, the anthropic influences may have been masked by this geologic formation, mainly to As and Pb elements, plentiful in Barreiras Formation.

14 DETERMINATION OF BACKGROUND VALUES IN A TROPICAL ESTUARINE SYSTEM IN NORTHEASTERN BRAZIL.

ABSTRACT

The study aims to infer the background values of heavy metals to Capibaribe Estuary and identify the possible anthropic activities during 200-years of sedimentation. Two cores were sampled, sub-samples in intervals of 2 cm and were performed sedimentation rates and heavy metal concentrations analysis. To infer the background values was used the Al-normalized method and Enrichment Factor, Contamination Factor and Geoaccumulation Index to identify the anthropic influences. The background values for Capibaribe Estuary showed concentrations for Mn of 292.2 mg.kg⁻¹, Fe of 2.7%, Co of 10.4 mg.kg⁻¹, Ni of 22.3 mg.kg⁻¹, Cu of 60.8 mg.kg⁻¹, Zn of 105.5 mg.kg⁻¹, As of 106.0 mg.kg⁻¹ and Pb of 52.9 mg.kg⁻¹. The higher values, mainly for As, Zn and Pb, are associated to the influence of Barreiras Formation, tertiary continental sedimentary deposits rich in heavy metals, and a potential contributor of metals for estuarine system. As this formation is the main influence for metal inputs to the system, the contamination by anthropic activities may have been masked, showing Enrichment Factor and Contamination Factor and Geoaccumulation Index characteristics of geogenic sources.

Keywords: Capibaribe Estuary, heavy metals, estuarine sedimentation,

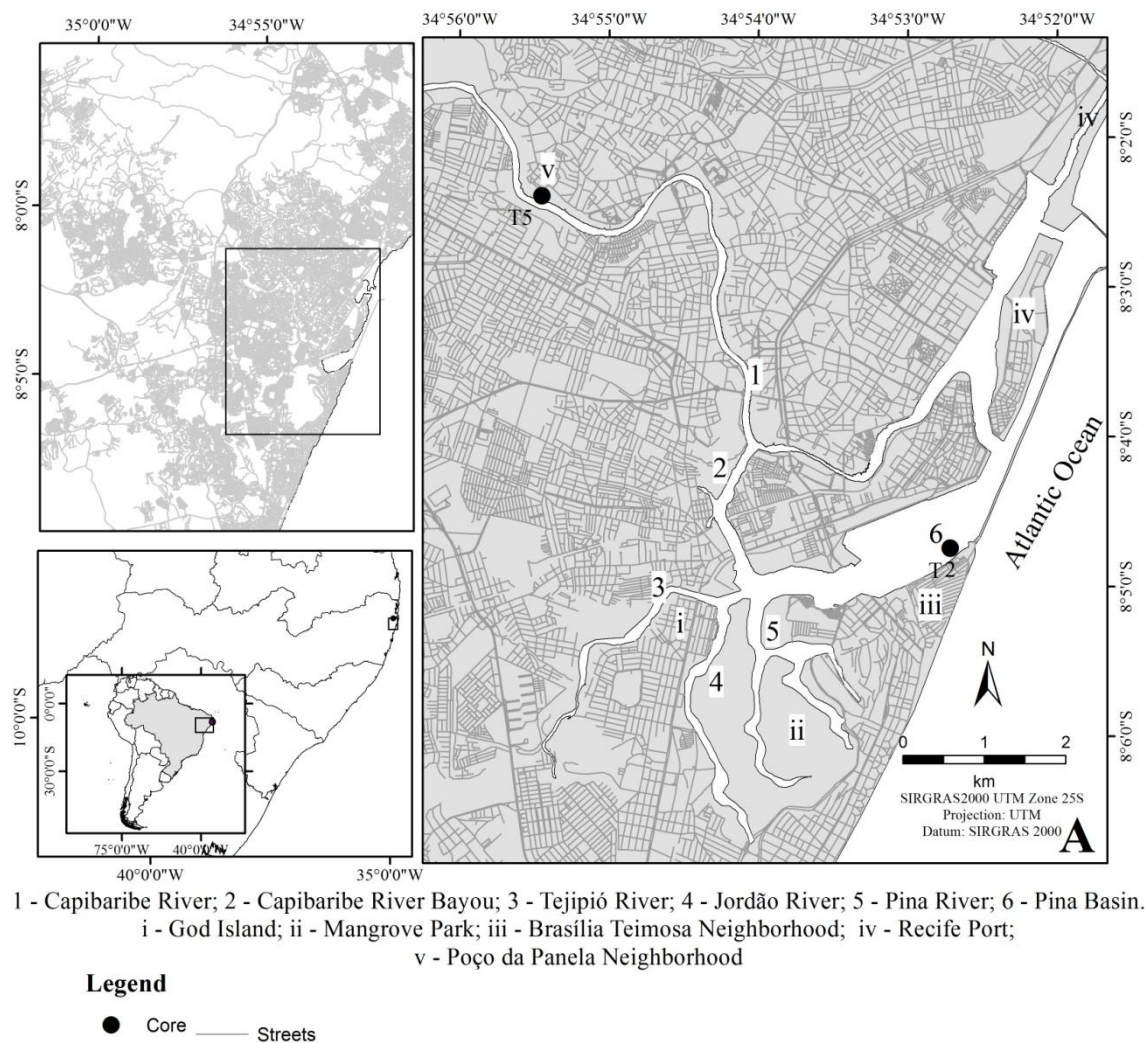
The coastal environments are important to preserve the characteristics of forces acting during the sedimentation (Darlymple, 1992) and thus, being possible to make the quantification of background values to heavy metals and organic compounds in biotic and abiotic systems (RODRIGUES; NALINI JÚNIOR, 2009). These environments are polluted by different sources (Matthiessen and Law, 2002; Hu et al., 2015) and they are natural filters of sediments and heavy metals of natural and anthropic sources, transported by fluvial fluxes (PERILLO, 1995). The inputs of heavy metals in coastal environment are registered adsorbed in the fine sediments (ZHANG, 1999; ZHANG; LIU, 2002). These sediments are used to evaluate and monitoring the metal concentrations, assuming that do not occur mobilization of these metals during the sedimentation (Belzile et al., 2004; Luoma et al., 2008; Förstner and Wittmann, 2012). The concentration and distribution of heavy metals may offer information about spatial distribution and magnitude of heavy metal inputs by anthropic activities (Crock et al., 1992; Birch and Olmos, 2008).

To evaluate the pollution extension in an area is common to use the natural concentrations of heavy metals, these values are used to calculate the geochemical background for a specific area. This allow to establish a pattern in the environmental quality and comparing these values in studies of anthropogenic impacts or identifying pollution sources (REIMANN et al., 2005; REIMANN; GARRETT, 2005; FADIGAS et al., 2006; GALUSZKA, 2007). With the background values established is possible to prepare geochemical maps with environmental focus, and is considered an important tool in the territorial management and may serve as alert guide to public managers. Whose permit to elaborate remediation projects for places where anomalous concentrations of heavy metals are identified (MATSCHULLAT, 2000; MATSCHULLAT et al., 2000; REIMANN et al., 2005; REIMANN; GARRETT, 2005; GALUSZKA, 2007).

The pollution in coastal environments has been intensified along the human history. These environments house approximately 70% of global population. The Capibaribe Estuary (8°S/35°W) is a great example of this intensification of the use of coastal environments in Brazil that historically comes by intense urbanization and industrial processes since 1630 and 1857, respectively (PONTUAL, 2001). The urban and industrial processes had a significant increase starting in 1900, with the Recife's Port expansion, improvements of urban infrastructure and the installation of factories along the estuary. Associated to these factors, the unplanned urbanization development added to industrial and domestic wastes inputs in this tropical coastal site increasing the pollutants concentrations in this system. In this way, the study aims to infer the background values to Capibaribe Estuary by means of heavy metal analysis in cores and through these background values to identify registers from contamination of anthropic sources.

The Capibaribe Estuary is located in Northeastern Brazil, in Recife City, inside an urban area formed by the confluence of the Capibaribe, Tejió/Jiquiá, Jordão, Pina and Beberibe rivers. This estuary has great ecologic, economic and social importance to Recife City (SANTOS et al., 2009). The Capibaribe River present 250 km of extension, from its source in Jararacá mountain chain to its mouth, draining 43 municipalities (AQUINO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2014), with a drainage basin of approximately 7.700 km². The rivers flow on crystalline rocks, and the tertiary and quaternary sediments being drained only in the Capibaribe River lower sector. Tertiary sediments are composed by fluvial sandy deposits, intercalated with muddy sediments, named Barreiras Formation. Quaternary sediments form the coastal plain, corresponding to estuarine and shallow marine sediments; fluvial sediments and mangrove areas are presents along river margins (OLIVEIRA et al., 2014).

Figure 1: Localization of Capibaribe Estuary and the cores collected in middle and lower estuary.



Authorship: The Author (2017).

The RMR houses 3.7 millions of inhabitants, being approximately 1.5 million in Recife City and, from this number, about 500,000 inhabitants living in the lower and middle Capibaribe Estuary. Recife City has a population density of about 7,000 inhabitants/km² (IBGE, 2010). In margins of Capibaribe River present small and degraded mangroves and the Pina Basin houses an extensive mangrove area, with approximately 20 km², called Mangrove Park with registered *Rizhophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* e *Avicennia schaueriana* specimens.

Despite its environmental importance, the Mangrove Park is being affected by real estate pressure, pollution and disorderly occupation (SILVA et al., 2010).

The climate of the RMR is characterized as humid and warm tropical, As' type according to Köppen classification, with higher rainfall periods between March and August and dry periods between September and February. The average rainfall is of 2,200 mm.y⁻¹ and air annual temperature mean of 25.2 °C (OLIVEIRA et al., 2014). The oceanographic parameters indicates that it is a dynamic environment, showing semidiurnal tides with maximum height of 2.7 meters on spring tides, ebb direction flow with maximum current speeds of 0.63 m.s⁻¹ and salinity values varying from 25.6 to 36.7 (ARAÚJO; PIRES, 1998b; SCHETTINI et al., 2016a).

In 27th November of 2012 were sampled two cores, T2 with 158 cm-deep (8°04'24"S e 34°52'44"W) and T5 with 178 cm-deep (8°02'22"S and 34°55'27"W), by push-core method with scuba diving support. The cores were opened, described and continuously sub-sampled at intervals of 2 cm. The samples were dried at 50°C to determination of grain size and total organic matter, sedimentation rates by ²¹⁰Pbxs activity and metal concentrations analysis.

The grain size was determined in a Malvern Mastersizer 2000 laser sedimentometer, after calcium carbonate and organic matter removal of samples and the sand and mud percentages were calculated in software Sysgran 3.0 (CAMARGO, 2006). To quantify the total organic matter was used the oxidation peroxide method proposed by Carver (1971). The sedimentation rate results followed radionuclide ²¹⁰Pb determination method described by Saito et al. (2001), that is based in ²¹⁰Pb half-live decay ($t_{1/2} = 22.3$ years) (PATCHINEELAM; SMOAK, 1999). The sedimentation rate value was calculated by CIC model (Constant Initial Concentration) (APPLEBY; OLDFIELD, 1978). A

maximum time span of 200 years was considered for the age determinations (FIGUEIRA et al., 1998).

The metal concentrations were obtained by energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF). The method is a multi-elementary analysis that it is based in exciting of chemical element atoms of samples. The values of element concentrations were calculated according dispersion, detection and mensuration these X-rays (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2009). For metal analysis in sedimentary samples were used proximally 1 g of sediment in polyethylene tubes and were sealed with polyethylene film for EDXRF analysis. The results were measured in equipment ED-720 (Shimadzu) with rhodium X-ray tube and Si(Li) detector for characteristic element quantifications. For methodology certification was used two reference samples of National Institute of Standard and Technology (NIST) and of International Energy Atomic Agency (IAEA), SRM2709 San Joaquin Soil and IAEA-Soil7 respectively. These soil reference were analyzed together the environment sediments and at time of 300 seconds. Cu, Co, Fe, Ga, La, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, Ti, V and Zn elements were used Mo filter and voltage adjusted at 50 kV and Al, Ca, K, and Si elements were measured with Al filter and voltage of 15 kV.

To the inference of the Capibaribe Estuary background values was used the Al-normalized, that is a regression method of polluting element versus the normalizing element value of natural origin and this relation will be 95% confidence level or high significance ($p < 0.0001$) (LORING; RANTALA, 1992; ROACH, 2005). The values of Al-normalization inside of 95% confidence will be used to calculate of background values (LEIVUORI, 1998; ROUSSIEZ et al., 2005; VEINOTT; PERRON-CASHMAN; ROBIN ANDERSON, 2001). The increasing of metal/Al ratios indicate higher anthropic influences (HERUT; SANDLER, 2006). To identify anomalies and evolution of heavy

metals concentrations, geochemistry standardizations by conservative element were realized as tool to evaluate the level of anthropogenic contamination (BAPTISTA NETO; SMITH; MCALLISTER, 2000; KARAGEORGIS; KATSANEVAKIS; KABERI, 2009). There are two approaches to normalization of metals in sediments, the granulometric and geochemical methods (LORING, 1991). The geochemical normalization is necessary standardized with a lithogenic conservative element (DIN, 1992; GROUSSET et al., 1999). Usually, Aluminium is used as lithogenic conservative element because it is a major constituent of fine-grained aluminosilicates (LORING, 1991) and its concentration is generally not influenced by anthropogenic sources (COVELLI; FONTOLAN, 1997; DIN, 1992; SCHROPP; WINDOM, 1988).

There are some types of geochemical normalization such as Enrichment Factor, Geoaccumulation Index and Contamination Factor.

According to Szefer et al. (1998), the enrichment factor (EF) is defined as follows:

$$FE = \frac{(C/Al)_{sample}}{(C/Al)_{background}}$$

Where C_{sample} is the trace element concentration in the sample, $C_{background}$ is the trace element concentration in base core, Al_{sample} is the aluminum content in the sample, and $Al_{background}$ is the aluminum content in the base core. The EF values were interpreted as the levels of metal pollution as suggested by Birch and Olmos (2008) where $EF < 1$ indicates no enrichment, < 3 is minor, 3-5 is moderate, 5-10 is moderately severe, 10-25 is severe, 25-50 is very severe and >50 is extremely severe.

Geoaccumulation Index allows to determine the contamination of the examined sediment with organic and inorganic substances by comparing present concentrations with background (SATAPATHY; PANDA, 2015). The geochemical background

concentrations are multiplied each time by constant 1.5 in order to allow the contents fluctuations of a given substance in the environment as well as very small anthropogenic influences and these values are defined as follows:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{Cn}{1.5 \times Bn}$$

Where, Cn is the metal concentration of sample and Bn is the geochemical background of a given sample element. According Müller (1969) the Geoaccumulation Index is divided in 6 classes. $I_{geo} \leq 0$ – unpolluted; $0 < I_{geo} < 1$ – unpolluted to moderately polluted; $1 < I_{geo} < 2$ – moderately polluted; $2 < I_{geo} < 3$ moderately to strongly polluted; $3 < I_{geo} < 4$ strongly polluted; $4 < I_{geo} < 5$ strongly polluted to extremely polluted and $I_{geo} > 5$ – extremely polluted.

In addition, the level of contamination of sediments by metal is expressed in terms of a contamination factor (CF). According Hakanson (1980) theses values are calculated:

$$CF = \frac{C_{metal}}{C_{Background}}$$

Where, C_{metal} is the metal concentration in sample and $C_{background}$ is the Earth's background or reference value for metal analysis. The CF value is divided into four classes: $CF < 1$ – refers to low contamination; $1 \leq CF < 3$ – means moderate contamination; $3 \leq CF \leq 6$ – indicates considerable contamination and $CF > 6$ indicates very high contamination (SATAPATHY; PANDA, 2015).

The sedimentation rate averages measured for the two cores were 0.45 cm.y^{-1} and 0.52 cm.y^{-1} for T2 and T5, respectively. The detection limit for two cores were in 90 and 104 cm-deep, below these intervals were considered layers with low anthropic

interferences, the heavy metal concentrations may be considered from natural sources. The table 1 indicates the range of metal concentration values for two cores.

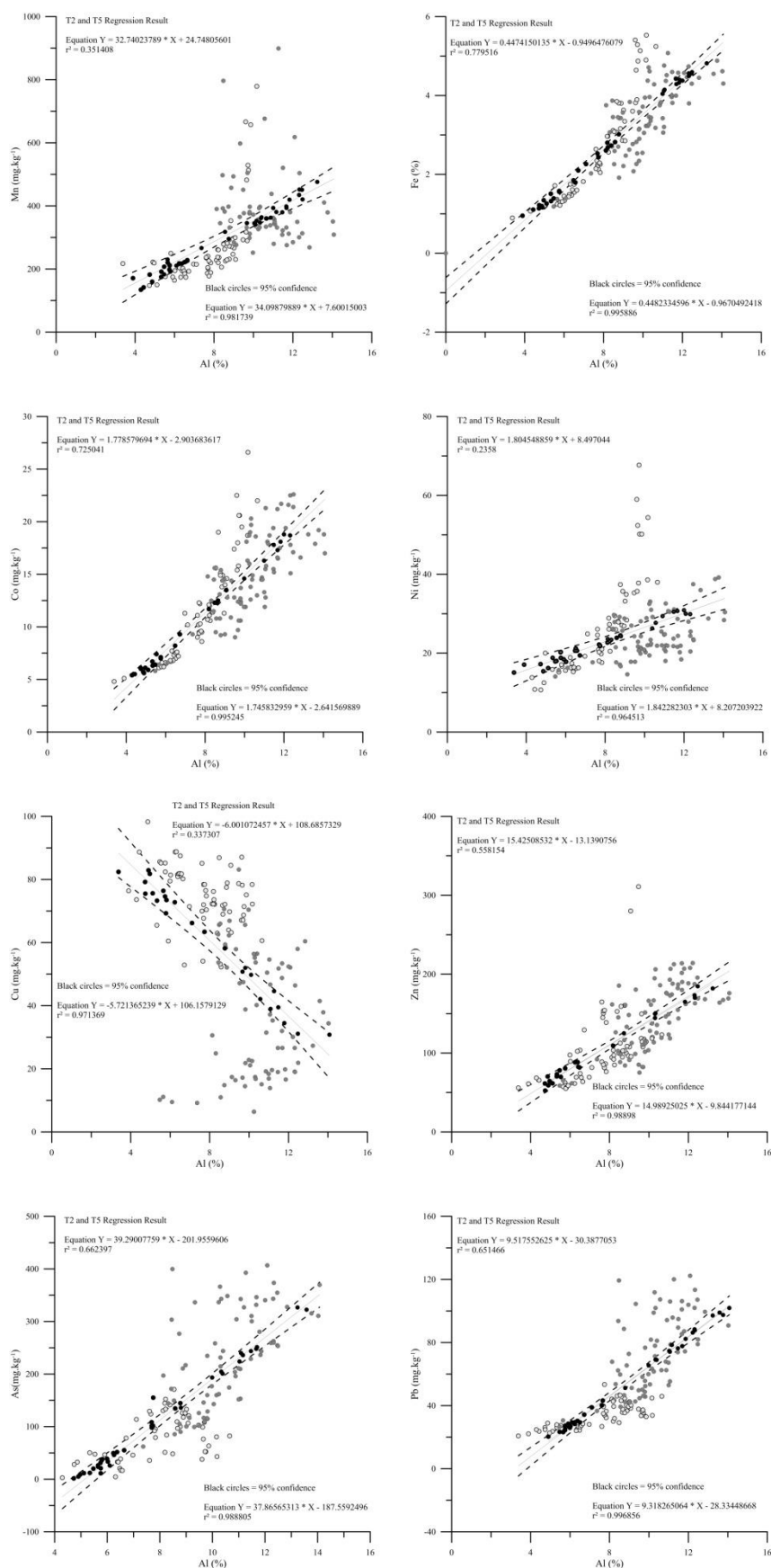
Table 1: Metal concentration values for two cores of Capibaribe Estuary.

T2 core									
	Mn*	Fe **	Co*	Ni*	Cu*	Zn*	As*	Pb*	Al**
Min	134.5	0.9	4.8	10.7	52.3	52.5	1.6	20.4	3.4
Max	779.1	5.5	26.6	67.7	98.3	310.9	170.9	53.4	10.7
Aver.	250.8	2.4	10.7	24.7	74.7	99.8	71.0	32.7	7.3
S. D.	70.0	1.0	3.9	8.2	7.1	29.3	40.6	6.4	1.5
T5 core									
	Mn*	Fe **	Co*	Ni*	Cu*	Zn*	As*	Pb*	Al**
Min	183.1	1.2	5.8	14.1	6.4	58.8	19.9	26.6	5.5
Max	899.0	5.1	22.6	39.2	83.1	214.1	406.7	122.3	14.1
Aver.	378.8	3.6	15.2	24.7	37.1	147.9	225.5	74.9	10.5
S. D.	70.4	0.7	3.1	4.5	16.5	34.0	79.0	19.5	1.3

*elements in mg.kg⁻¹; **elements in percentage

The background values were calculated by indirect method (mean of values), using the values inside 95% confidence level of Al-normalized, since this values were selected the intervals located next to base-core. (GALUSZKA, 2007; JIANG et al., 2013; TOBÍAS; BECH; ALGARRA, 1997; TOBÍAS; BECH; SÁNCHEZ ALGARRA, 1997; XU et al., 2014) (Figure 2). In this way, the background values are showed in Table 2, comparing with other studies in Brazil and Earth's background values.

Figure 2: Al-normalized to metals records. T2 core and T5 core are represented by light grey circle and dark grey circle, respectively. To calculate of background value all samples inside 95% confidence (black circle).



Authorship: The Author (2017).

Table 2: Background values of heavy metals for this study in Capibaribe Estuary.

	Mn*	Fe**	Co*	Ni*	Cu*	Zn*	As*	Pb*
This study	292.2	2.7	10.4	22.3	60.8	105.5	106.0	52.9
Turekian and Wedepohl (1961)	850	4.7	19	68	45	95	13	20
Silva et al. (2010)	160.0	-	-	-	-	41.0	-	-
Noronha et al. (2011)		2.4	-	-	-	155.0	-	-
Marques et al. (2011)	49.0	1.3	-	-	11.0	41	-	-
Mendes (2015)	292.8	5.3	7.0	11.85	15.72	40.0	14.2	18.05
Paula Filho et al. (2015)	633	1.4	-	-	6.8	13.4	-	5.9

*mg.kg⁻¹; ** in percentage

With the background values of heavy metals for Capibaribe Estuary, the Enrichment Factor, Contamination Factor and Geoaccumulation Index were calculated and are showed in the Table 3.

Table 3: Enrichment Factor (EF), Contamination Factor (CF) and Geochemical Index (Igeo) values for the two cores.

	T2			T5		
	EF	CF	Igeo	EF	CF	Igeo
Mn	0.6 - 2.0	0.5 - 2.7	-1.7 - 0.8	0.6 - 2.8	0.5 - 2.3	-1.3 - 1.0
Fe	0.6 - 1.6	0.3 - 2.0	-2.2 - 0.4	0.7 - 1.5	0.4 - 1.9	-1.8 - 0.3
Co	0.8 - 1.9	0.5 - 2.6	-1.7 - 1.0	0.8 - 1.7	0.4 - 1.7	-1.4 - 0.5
Ni	0.8 - 2.4	0.5 - 3.0	-1.6 - 1.0	0.6 - 1.4	0.5 - 1.3	-1.2 - 0.2
Cu	0.7 - 3.1	0.9 - 1.6	-0.8 - 0.1	0.1 - 1.4	0.1 - 1.2	-3.8 - -0.1
Zn	0.7 - 2.4	0.5 - 2.9	-1.6 - 1.0	0.6 - 2.0	0.5 - 1.7	-1.4 - 0.4
As	0.0 - 1.4	0.0 - 1.5	-6.9 - 0.0	0.2 - 3.8	0.1 - 1.5	-3.0 - 1.4
Pb	0.5 - 1.0	0.4 - 1.0	-2.0 - -0.6	0.5 - 2.3	0.5 - 2.3	-1.6 - 0.6

The Recife City showed most change relative to coastline geomorphologic (PONTUAL, 2001), however do not show an intense industrialization around the Capibaribe Estuary as well as Guanabara Bay, Yangtze Estuary and others (BAPTISTA NETO et al., 2013; ZHANG et al., 2009). According to the geochemical normalization, the EF, CF and Igeo values varied in the two cores from no enrichment to moderate enrichment, no contamination to moderate contamination and unpolluted to moderately polluted, respectively. Jiang et al. (2013) say that EF values below 3, may indicate natural

sources of geogenic origin. Possibly, this influence came from Barreiras Formation that may be masking the heavy metal concentration from anthropic sources. This formation is rich principally in Mn, Fe, Co, Cu (MELO et al., 2002) and the Barreiras Formation next to estuarine region showed high Arsenic and Nickel concentrations (CPRM, 2005).

Another influence in these background values were the sedimentary changes occurred during sedimentation. Xavier et al. (2016) affirm that the anthropic changes occurred in lower and middle Capibaribe Estuary induced changes in sedimentary patterns, *where the intensity of urban processes increase in the sand percentages and thus decrease in finer sedimentation and organic matter, consequently in heavy metals concentrations. The bases of cores are referent to the years before 1812, period of low anthropic influences and possibly, with values of natural sources. According the Al-normalized values, the black circles (95% confidence) are major represented by core-base interval. When we compare the background values registered by Silva et al. (2010) in the Mangrove Park surface sediments, demonstrate an increase in Zinc and Manganese values. The background values obtained by Silva et al (2010) may have been also influenced possibly due to higher sand contents (BIRCH; OLMOS, 2008).

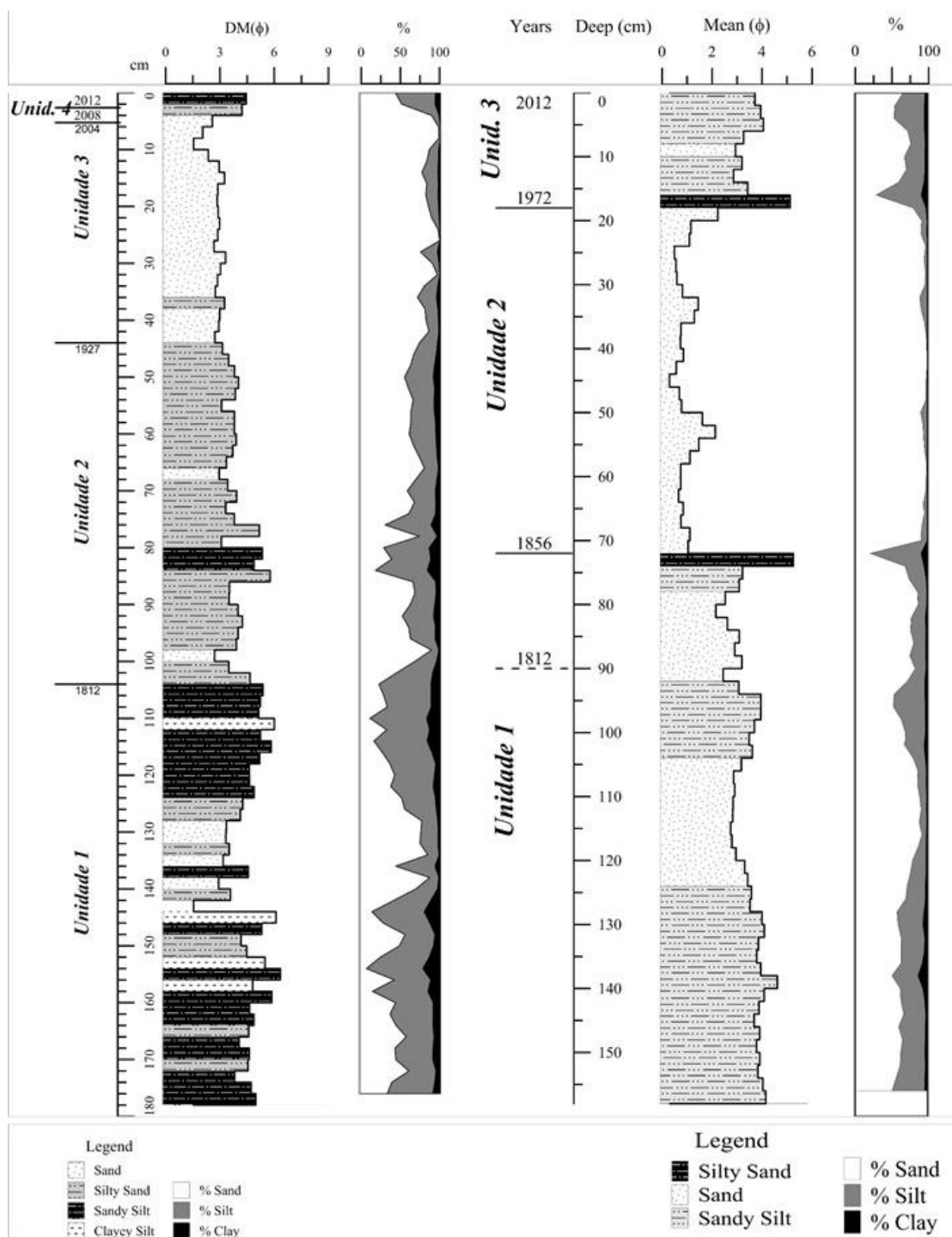
The background of heavy metals in sediments are important to evaluate the health of estuarine system. The case of Capibaribe estuary, the background values were important to identify if there was the occurrence of contamination level during the evolution of urbanization. However, the historic registers of heavy metals did not evidence clearly the anthropic influence to the Capibaribe Estuary, exemplified in general, by low values of Enrichment Factor, Contamination Factor and Geoaccumulation Index. It is possible to affirm that the Barreiras Formation was the greater contributor in increase of metals in the Capibaribe Estuary System, mainly in core located in middle estuary (T5).

15 INTEGRAÇÃO DOS DADOS

O estuário do rio Capibaribe vem passando por intervenções antrópicas desde o início da colonização, intensificadas até os dias atuais (PONTUAL, 2001; XAVIER et al., 2016). Os testemunhos recuperados no médio (T5) e baixo estuário (T2) registraram diferenças nos padrões sedimentares ao longo dos últimos 200 anos, possivelmente associados ao aumento da população e decorrente intensificação da urbanização no entorno da área estuarina. Estes testemunhos apresentaram registros de três e quatro unidades, respectivamente. Os dois testemunhos registraram unidades com algumas características semelhantes.

De acordo com as taxas de sedimentação, os testemunhos do médio (T5) e do baixo (T2) estuário registraram $0,52 \text{ cm.ano}^{-1}$ e $0,45 \text{ cm.ano}^{-1}$ com o limite de detecção à 90 e 106 cm de profundidade, respectivamente (Figura 20).

Figura 20: Caracterização vertical dos testemunhos coletados no Estuário do rio Capibaribe. Testemunho do médio estuário registrando quatro unidades e do baixo estuário com três unidades.



Fonte: O Autor (2017).

As Unidades 1 basais de cada testemunho apresentaram características semelhantes, com sedimentação variando de areia muito fina a silte grosso provavelmente influenciadas pelos manguezais existentes à época, representados pelos altos teores de matéria orgânica total, apresentando médias de $6,3 \pm 1.5\%$ e $8,5 \pm 3.2\%$. E é possível afirmar que as concentrações de metais pesados sejam de origem natural geogênica (Tabela 5). Estas unidades apresentaram características de sedimentação estuarina com pouca interferência antrópica em torno do sistema, principalmente para o médio estuário no qual o início dos processos de urbanização começaram a partir de 1812 com a criação dos bairros do Poço da Panela, Apipucos, Casa Forte e Várzea (BARREIRO, 2002; BARRETO, 1994; FREYRE, 2004; PONTUAL, 2001).

Tabela 5: Tabela com os valores médios para todos os parâmetros analisados. SM – susceptibilidade magnética; CaCO_3 – carbonato de cálcio; MOT – matéria orgânica total; DM – diâmetro médio (ϕ).

Unid.	Baixo Estuário			Médio Estuário			
	1	2	3	1	2	3	4
SM**	6.2 ± 3.6	8.5 ± 2.2	6.9 ± 3.7	22.5 ± 4.6	23.0 ± 3.0	28.5 ± 3.6	12.5 ± 2.5
CaCO_3	14.6 ± 4.0	6.7 ± 1.7	10.1 ± 2.7	11.8 ± 3.7	10.7 ± 2.4	6.9 ± 2.9	9.9 ± 2.1
MOT*	6.3 ± 1.5	1.8 ± 0.5	4.4 ± 1.7	8.5 ± 3.2	8.7 ± 2.4	6.6 ± 2.9	7.1 ± 0.6
DM	3.5 ± 0.6	1.0 ± 0.4	3.5 ± 0.5				
Areia*	63.3 ± 11.1	95.2 ± 2.6	70.3 ± 11.0	43.6 ± 15.6	61.6 ± 10.4	86.5 ± 6.8	48.1 ± 3.8
Silte*	32.2 ± 10.1	4.4 ± 2.2	26.1 ± 9.7	47.0 ± 12.5	31.7 ± 8.4	11.4 ± 5.8	45.4 ± 4.2
Argila*	4.6 ± 1.0	0.4 ± 0.4	3.7 ± 1.5	9.4 ± 3.7	6.8 ± 2.4	2.1 ± 1.0	6.5 ± 0.3
Mn	300.0 ± 92.8	187.5 ± 25.2	203.8 ± 13.9	438.4 ± 100.3	349.4 ± 35.8	320.7 ± 50.9	313.7 ± 18.0
Fe*	3.1 ± 0.3	1.4 ± 0.1	2.3 ± 0.2	3.9 ± 0.7	3.8 ± 0.5	2.8 ± 0.6	3.1 ± 0.4
Co	13.2 ± 4.0	6.6 ± 1.0	10.4 ± 1.7	15.8 ± 2.9	16.7 ± 2.8	11.7 ± 2.4	13.1 ± 2.3
Ni	30.0 ± 9.8	17.3 ± 2.6	21.1 ± 2.8	28.9 ± 3.6	23.1 ± 2.4	19.6 ± 2.6	277.2 ± 260.1
Cu	72.3 ± 5.0	82.1 ± 4.4	66.1 ± 9.6	50.8 ± 9.1	29.9 ± 14.2	22.9 ± 9.8	36.8 ± 22.0
Zn	104.8 ± 28.5	74.4 ± 11.0	144.7 ± 18.1	157.0 ± 33.0	156.9 ± 27.2	116.7 ± 28.6	138.7 ± 22.2
Ga	9.3 ± 0.7	7.6 ± 0.2	8.7 ± 0.5	10.9 ± 1.0	10.8 ± 0.6	9.5 ± 0.7	9.7 ± 0.4
As	86.5 ± 20.8	24.2 ± 8.6	112.24 ± 9.7	288.4 ± 74.4	224.6 ± 33.4	118.8 ± 44.5	120.6 ± 15.3
Pb	35.2 ± 4.9	25.5 ± 2.1	41.0 ± 5.9	90.1 ± 18.1	74.5 ± 9.0	49.2 ± 10.7	48.9 ± 2.3
Ti	4836.0 ± 504.2	3214.1 ± 301.1	3760.5 ± 275.4	4685.0 ± 398.7	4770.7 ± 305.6	4264.3 ± 326.2	4257.4 ± 176.3
V	302.9 ± 46.1	169.4 ± 23.2	213.6 ± 22.5	290.4 ± 24.7	298.1 ± 24.0	267.4 ± 29.3	255.0 ± 21.6
Mg*	0.9 ± 0.2	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.7 ± 1.1	0.6 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.1
Al*	8.2 ± 1.1	5.6 ± 0.9	7.8 ± 0.6	10.8 ± 1.5	11.1 ± 0.6	8.9 ± 1.3	8.8 ± 0.1
K*	1.9 ± 0.2	1.3 ± 0.2	1.2 ± 0.01				
Ca*	1.4 ± 0.3	2.0 ± 0.5	2.5 ± 0.3	-	-	-	-

*valores em porcentagem; **valores em 10^{-5} S.I; Outros valores em mg.kg^{-1}

Para o baixo estuário, os processos de urbanização ocorreram desde a chegada dos holandeses na cidade do Recife. Aterramentos de áreas alagadas para a expansão urbana, construção de vias, abertura e dragagem de canais além das obras de melhoria do Porto do Recife foram as principais intervenções antrópicas para melhoria do espaço urbano durante 1630 a 1654 ((BORBOREMA; ANDRADE; SÁ, 2011; PONTUAL, 2001; VASCONCELOS; SÁ, 2011). Estas obras modificaram a linha de costa da cidade do Recife e com isso possivelmente o padrão de sedimentação para o estuário.

Com as grandes modificações entorno do estuário, como a construção do Dique do Nogueira (1849) na Bacia do Pina e a intensificação da urbanização aos arredores do bairro do Poço da Panela, foram possíveis perceber na Unidade 2 do baixo estuário, bem como na Unidade 3 do médio estuário acréscimo nas porcentagens de areia (médias para o baixo estuário de $95,2 \pm 2,6\%$ e médio estuário de $86,5 \pm 6,8\%$), baixos teores de matéria orgânica e de metais (Tabela 1). Para o testemunho do médio estuário (T5), a expansão urbana e a monocultura açucareira foram os principais responsáveis pela modificação do padrão sedimentar, registrado a partir da Unidade 2 com incrementos nas porcentagens de areia (média de $61,6 \pm 10,4\%$) (Figura 20). As intensificações desses processos, principalmente pelo desmatamento da Mata Atlântica para a produção de açúcar, assim como a modificação das margens do rio para construção de casas de veraneio, facilitaram a instalação de processos erosivos, a lixiviação (“*run-off*”) e o transporte de sedimentos, aumentando as porcentagens de areia e desta forma assoreando o canal estuarino do rio Capibaribe. Outro fator que pode ter contribuído para o aumento nas porcentagens de areia, registrados na Unidade 3 do médio estuário, foi a remoção dos manguezais das margens do rio Capibaribe, facilitando a erosão das áreas marginais estuarinas (BARREIRO, 2002; PONTUAL, 2001).

Já o testemunho localizado no baixo estuário (T2), a Unidade 2 apresentou características mais arenosas com granulação variando de areia média a grossa. Essa modificação no padrão sedimentar para o baixo estuário pode estar relacionada com as primeiras intervenções feitas na Bacia do Pina, como a construção do Dique do Nogueira em 1849 associada com as modificações ocorrida no Porto do Recife que findaram em 1910. (PEREIRA, 2008; PONTUAL, 2001). A configuração da linha de costa no final do século XVIII e início do século XIX poderia ter modificado os padrões de circulação dentro do estuário, intensificando as correntes de maré transportando mais sedimentos arenosos com predominância de grãos médios. Schettini et al. (2016) registrou média de velocidade de maré de $0,65 \text{ cm.s}^{-1}$, velocidade com competência e capacidade de transportar sedimentos de grânulos areia média a grossa (IBÁÑEZ; PRAT; CANICIO, 1996).

A Unidade 4 do médio estuário (T5) e a Unidade 3 do baixo estuário (T2) (topo do testemunho) foram as unidades mais recentes da coluna sedimentar, com intervalos de 2004 a 2012 e 1972 a 2012, respectivamente. Estas duas unidades apresentaram mudanças no padrão sedimentar possivelmente por influências locais. Para o médio estuário, o aumento na deposição de sedimentos lamosos, matéria orgânica e metais podem estar associados com os resultados dos projetos de revitalização dos manguezais das margens do rio Capibaribe realizado pela Prefeitura do Recife (MELO et al., 2011; SANTOS, 2011).

Já para o baixo estuário, a modificação no padrão sedimentar registrado no testemunho da Bacia do Pina pode estar associada a um conjunto de intervenções no espaço físico local. Nesta área, um dos fatores que podem ter influenciado no acréscimo de sedimentos lamosos, nos teores de matéria orgânica e nas concentrações de metais provavelmente está relacionado à ocupação da área destinada à instalação do parque de

combustíveis do Porto do Recife atual bairro de Brasília Teimosa (PEREIRA, 2008) (Figura 21).

Figura 21: Modificação do baixo estuário do rio Capibaribe. (A) fotografia aérea em 1950 e (B) imagem de satélite Google Earth 2012.



Fonte: Google Earth e FINEPE.

A ocupação desordenada por meio da instalação de palafitas pode ter atenuado as correntes de maré, facilitando a deposição de sedimentos finos e matéria orgânica registrados nesta unidade. Outros fatores como o desmatamento das áreas de mangue da Ilha de Deus para construção de tanques de carcinicultura e piscicultura, além dos aterramentos das áreas alagadas e da remoção da vegetação das áreas marginais do estuário disponibilizaram mais sedimentos de granulação fina e matéria orgânica para o sistema estuarino.

Quanto aos registros de cheias por eventos de chuvas extremas, o testemunho do baixo estuário registrou os eventos de cheia dos anos de 1849, 1975 e 2010 registrado na Região Metropolitana do Recife, esses anos representaram intervalos com sedimentos mais de granulação mais fina, rica em matéria orgânica e metais.

O testemunho do médio estuário apresentou apenas os registros das cheias de 1849 e 1975. A cheia de 1849 foi registrado no intervalo 80-82 cm do testemunho do médio estuário e evidenciou características semelhantes aos do testemunho do baixo estuário, com sedimentação mais fina rica em matéria orgânica e metais. Essas características podem ser justificadas pela área apresentar, neste período, alta densidade de manguezais nas áreas marginais. Esse ecossistema é importante no aprisionamento de sedimentos finos. O intervalo 18-20 cm do testemunho do médio estuário indicou possivelmente a cheia de 1975 e não apresentou características semelhantes às do baixo estuário. A camada sedimentar do médio estuário apresentou sedimentos arenosos com granulação variando de fina a média, com baixas porcentagens de matéria orgânica e de metais. Diferente da camada sedimentar do baixo estuário que registrou para a cheia de 1975 sedimentos de granulação fina ricos em matéria orgânica e metais.

Esta diferença entre as características sedimentares entre as camadas sedimentares do médio e baixo estuário podem estar relacionados com a energia de transporte do rio Capibaribe. Neste evento de cheia o rio registrou vazão de aproximadamente $3.600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, esta vazão intensificou o transporte de sedimentos do rio Capibaribe. Desta forma, a fração fina erodida do alto e médio estuário foi sendo transportada para o baixo estuário, e nesta parte do estuário está localizado uma bacia de sedimentação chamada Bacia do Pina. O material transportando durante o evento de 1975 possivelmente ficou retido na Bacia do Pina, aumentando as porcentagens de finos, matéria orgânica e metais para a área do baixo estuário.

Com relação aos dados de metais para o estuário do rio Capibaribe, pode-se observar que possivelmente a Formação Barreiras é uma grande contribuinte no incremento na concentração de metais para a região estuarina, principalmente em relação às concentrações de alumínio e ferro (ALHEIROS; LIMA FILHO, 1991). CPRM (2005)

afirma que grande parte do estado de Pernambuco apresenta concentração acima do background para níquel e arsênio, podendo ser percebidos neste estudo que as concentrações de arsênio para a região do estuário do rio Capibaribe apresentaram valores até 41 vezes (407 mg.kg^{-1} – médio estuário) acima do valor de background mundial proposto por Turekian e Wedepohl (1961). Além do arsênio, o chumbo e o zinco apresentaram concentrações aproximadamente seis e duas vezes maiores, respectivamente.

Porém, os cálculos para a normalização geoquímica demonstraram que o estuário do rio Capibaribe apresentou impacto antrópico de leve a moderado em relação aos metais de origem antrópica. Os resultados de Fator de Enriquecimento (SZEFER et al 1998), Fator de Contaminação (HAKANSON, 1980) e Índice de Geoacumulação (MÜLLER, 1968) apresentaram características de uma leve poluição, por vezes sendo considerada apenas a influência de uma maior contribuição geogênica capaz de aumentar a concentração desses metais.

A normalização pelo alumínio demonstrou ser mais sensível a incrementos de metais de origem antrópica corroborando com Din (1992), Covelli e Fontolan (1997) e Ho et al. (2012) que afirmaram este tipo de normalização é usado principalmente em ambientes estuarinos. Em que através dessa normalização foi observado para o baixo estuário do rio Capibaribe registro de uma possível contaminação de origem antrópica para os elementos arsênio, chumbo e zinco. Sendo necessário para os dados do médio estuário, testar se com essa normalização com o alumínio, poderíamos identificar possíveis contaminações de origem antrópica.

16 CONCLUSÕES

O estuário do rio Capibaribe vem passando por um processo de interferência antrópica desde o início do século XVII. Estas intervenções no meio físico podem ter interferido e modificado o padrão sedimentar para o sistema estuarino, tal qual observado para os testemunhos do médio e baixo estuário. Estes apresentaram unidades sedimentares com características distintas possivelmente influenciadas pelas intervenções antrópicas como desmatamento da Mata Atlântica, desmatamento dos manguezais, aterramentos de áreas alagadas para expansão urbana, dragagem do canal principal do estuário, ocupação desordenada do solo entre outros.

No médio estuário o processo de urbanização ocorreu de forma mais tardia. Principalmente para a área ao redor do bairro do Poço da Panela, iniciada a partir de 1812 com a abertura de estradas e construção de casas de veraneio para a alta sociedade do Recife. Bem como a instalação dos engenhos de cana e a expansão da monocultura da cana-de-açúcar que causaram grande desmatamento da Mata Atlântica de planície presente na região. Este fator teria sido preponderante no aumentando da lixiviação e dos processos erosivos, incrementando as porcentagens de areia e o assoreamento do canal do rio Capibaribe.

Para o baixo estuário do rio Capibaribe, o testemunho (T2) possivelmente registrou os principais eventos de modificação da linha de costa. A primeira intervenção ocorreu em 1849 com a construção do dique do Nogueira, uma obra de melhoramento do Porto do Recife, modificando o padrão sedimentar principalmente na Bacia do Pina ocorrendo maior deposição de areia, menor sedimentação de finos e de matéria orgânica consequentemente de metais no sistema. Bem como o processo de ocupação desordenada nas margens do baixo estuário, a partir de 1950, modificaram o padrão sedimentar

aumentando a deposição de sedimentos finos, de matéria orgânica e metais possivelmente associados com a instalação das palafitas.

Quanto aos valores das taxas de sedimentação, o médio estuário registrou uma maior taxa de sedimentação quando comparado ao baixo estuário, $0,52 \text{ cm.ano}^{-1}$ e $0,45 \text{ cm.ano}^{-1}$, respectivamente. Estes valores demonstraram que o médio estuário apresentou a capacidade de maior retenção de sedimentos, principalmente lamosos de origem continental. Enquanto no baixo estuário, essa taxa de sedimentação, principalmente na Bacia do Pina, indicou que esses sedimentos ficariam menos retidos devido à hidrodinâmica mais intensa presente nesta área.

Em relação às concentrações de metais pesados, os valores encontrados para o sistema estuarino registraram concentrações acima do background da litosfera, principalmente para os elementos arsênio, zinco e chumbo. Possivelmente, esses valores poderiam estar associados com a Formação Barreiras, que de acordo com a literatura, é uma formação sedimentar rica em metais como alumínio, ferro, manganês, arsênio, zinco, níquel, chumbo entre outros.

Com a determinação dos valores de background regional foi possível identificar que o estuário registrou uma variação de uma leve a moderada contaminação, podendo estar associado também essa fonte geogênica de sedimentos da Formação Barreiras.

Ainda com relação aos metais, a normalização com o alumínio (método de regressão) demonstrou ser mais eficiente na identificação de possíveis indícios de contaminação de origem antrópica, entretanto para estudo de testemunhos em estuários estas informações têm que estar amarradas aos dados de datação e com os levantamentos históricos da área, sendo assim possível fazer tal inferência.

Nos testemunhos do Estuário do rio Capibaribe foi possível identificar intervalos com alta deposição de sedimentos finos, matéria orgânica e de metais. Estes picos estariam associados aos principais eventos de cheia registrados para a Região Metropolitana do Recife no período, ocorridos em 2010, 1975 e 1849.

Por fim, faz-se necessário o aumento nos estudos de colunas sedimentares de ambientes costeiros, principalmente em áreas intensamente modificadas pela interferência antrópica. Além de estudos para determinar as possíveis fontes de metais para o estuário do rio Capibaribe, bem como aumentar o banco de dados para melhorar a acurácia dos valores do nível de referência de metais para o sistema estuarino.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. E. et al. The geostatistics of the metal concentrations in sediments from the eastern Brazilian continental shelf in áreas of gas and oil production. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 51, p. 91–104, 2014.
- ALBUQUERQUE, R. T. D. DE B. et al. Distribuição Temporal das Precipitações no Município do Recife. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 2, p. 245–252, 2011.
- ALHEIROS, M. M. **Caracterização Sedimentológica da Formação Cabo - PE**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 1987.
- ALHEIROS, M. M.; FERREIRA, M. G. V. X.; LIMA FILHO, M. F. **Mapa Geológico do Recife, E-1: 25.000RECIFESEPLAN**, , 1995.
- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F. A Formação Barreiras. Revisão da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e do Rio Grande do Norte. **Série Estudos Geológicos**, v. 10, p. 77–88, 1991.
- ALONGI, D. M. Effect of mangrove detrital out welling on nutrient regeneration, oxygen fluxes in coastal sediments of the central Great Barrier Reef lagoon. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 31, p. 581–598, 1990.
- ALOUPI, M.; ANGELIDIS, M. O. Geochemistry of natural and anthropogenic metals in the coastal sediments of the island of Lesbos, Aegean Sea. **Environmental Pollution**, v. 113, n. 2, p. 211–219, 2001.
- ANDRADE-LIMA, D. DE. Estudos fitogeográficos de pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômicas**, v. 4, p. 243–274, 2007.
- ANDREWS, J. E. et al. Pollution history of a tropical estuary revealed by combined hydrodynamic modeling and sediment geochemistry. **Journal of Marine Systems**, v. 18, p. 333–343, 1999.
- APPLEBY, P. G.; OLDFIELD, F. The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported 210Pb to the sediment. **CATENA**, v. 5, n. 1, p. 1–8, abr. 1978.
- APRILE, F. M.; BOUVY, M. Distribution And Enrichment Of Heavy Metals In Sediments At The Tapacurá River Basin, North Eastern Brazil. **Braz.J. Aquat. Sci. Technol**, v. 12, n. 1, p. 1–8, 2008.
- APRILE, F. M.; BOUVY, M. Heavy metal levels in surface waters from a tropical river basin, Pernambuco State, northeastern Brazil. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 32, n. 4, p. 357–364, 2010.
- AQUINO, E. P. et al. Microphytoplankton community and environmental variables in an urban eutrophic estuary (Capibaribe River, Northeast Brazil). **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 9, n. 4, p. 267–277, 2014.
- ARAÚJO, A. M.; PIRES, T. T. Simulação Exploratória dos Efeitos das Marés na Circulação e Transporte Hidrodinâmicos da Bacia do Pina. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 3 n.3 Jul/Set 1998**, 57-71, v. 3, p. 57–71, 1998a.
- ARAÚJO, A. M.; PIRES, T. T. SIMULAÇÃO EXPLORATÓRIA DOS EFEITOS DAS MARÉS NA CIRCULAÇÃO E TRANSPORTE HIDRODINÂMICOS DA BACIA DO PINA. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, p. 57–71, 1998b.

- BAPTISTA NETO, J. A. et al. Geochronology and heavy metal flux to Guanabara bay, Rio de Janeiro state: a preliminary study. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 4, p. 1317–1327, 2013.
- BAPTISTA NETO, J. A.; SMITH, B. J.; MCALLISTER, J. J. Heavy metal concentrations in surface sediments in a nearshore environment, Jurujuba Sound, Southeast Brazil. **Environmental Pollution**, v. 109, n. 1, p. 1–9, jul. 2000.
- BARBOSA, J. A et al. A estratigrafia da bacia Paraíba: uma reconsideração. **Estudos Geológicos**, v. 13, p. 89–108, 2003.
- BARCELLOS, R. L. et al. Modern sedimentary processes and seasonal variations of organic matter in an urban tropical estuary, Jaboatão River (PE), Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 75, n. sp1, p. 38–42, 2016.
- BARREIRO, J. C. **Imaginário e Viajantes no Brasil no século XIX: Cultura e Cotidiano, Tradição e Resistência**. São Paulo: UNESP, 2002.
- BARRETO, Â. M. **O Recife através dos tempos: formação da paisagem**. RECIFE: FUNDARPE, 1994.
- BARROS, L. C. **Estudos Sedimentológicos na Plataforma Continental Interna Adjacente às Desembocaduras Su do Canal de Santa Cruz e do Rio Timbó, Norte do Estado de Pernambuco**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2003.
- BARROS, S. A. L.; LEITE, M. A. F. P. A Escala Bairro e o Conceito de Lugar Urbano: O Caso de Apipucos e Poço da Panela no Recife. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, v. 15, p. 56–73, 2004.
- BELL, R. et al. What is regulates sedimentation in estuaries? **NIWA**, v. 8, n. 4, p. 13–16, 2000.
- BELZILE, N. et al. Sediment trace metal profiles in lakes of Killarney Park, Canada: from regional to continental influence. **Environmental Pollution**, v. 130, n. 2, p. 239–248, 2004.
- BERNER, R. A new geochemical classification of sedimentary environments. **Journal of Sedimentary Petrology**1, v. 51, p. 359–365, 1981.
- BEURLIN, K. Estratigrafia da Faixa Costeira Sedimentar Recife-João Pessoa. **Boletim de Geologia**, v. 16, n. 1, p. 43–53, 1967a.
- BEURLIN, K. Paleontologia da faixa sedimentar costeira Recife-Pernambuco. **Boletim de Geologia**, v. 16, n. 1, p. 73–79, 1967b.
- BIRCH, G. F.; DAVEY, S. Accumulation of metallic contaminants in surficial sediments on a high-energy continental shelf, Sydney, Australia. **Science of The Total Environment**1, v. 170, p. 81–93, 1995.
- BIRCH, G. F.; OLMOS, M. A. Sediment-bound heavy metals as indicators of human influence and biological risk in coastal water bodies. **ICES Journal of Marine Science**, v. 65, n. 8, p. 1407–1413, 25 set. 2008.
- BITTENCOURT, A. C. S. P. et al. **Quaternary marine formations of the coast of the state of Bahia (Brazil)**. Atlas do Simp. Intern. Sobre a evolução costeira no Quaternário., , 1979.
- BORBOREMA, A. C. B. A.; ANDRADE, H. J. L. F.; SÁ, L. A. C. M. **Da Cartografia dos antigos engenhos à cartografia holandesa e portuguesa**. Anais do I simpósio Brasileiro de Cartografia Histórica. **Anais...2011**Disponível em: <https://www.ufmg.br/rededemuseus/crch/simpósio/BORBOREMA_ANA_CLAUDIA_B_ET_

AL.pdf>

BOSENCE, D. W. J.; WILSON, R. C. L. Carbonate depositional system. **The geological Record of Environmental Change**, v. 11, p. 102–233, 2002.

BRAYNER, F. M. M. et al. Behaviour of heavy metals in the estuarine area of the Capibaribe River in the Northeast of Brazil. **Journal de Physique IV (Proceedings)**, v. 107, p. 221–225, maio 2003.

BRITO, F.; SOUZA, J. DE. Expansão urbana nas grandes metrópoles: o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza. **São Paulo em Perspectiva**, v. 19, n. 4, p. 48–63, 2005.

BUCKLEY, D. E.; SMITH, J. N.; WINTERS, G. V. Accumulation of contaminant metals in marine sediments of Halifax Harbour, Nova Scotia: Environmental factors and historical trends. **Applied Geochemistry**, v. 10, n. 2, p. 175–195, 1995.

CAMARGO, M. G. DE. SYSGRAN: UM SISTEMA DE CÓDIGO ABERTO PARA ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DO SEDIMENTO. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 2, p. 371–378, 2006.

CARMO, M. S.; BOAVENTURA, G. R.; ANGÉLICA, R. S. Estudo Geoquímico de sedimentos de corrente da boca hidrográfica do Rio Descoberto (BHRD), Brasília - DF. **Geochemical Brasiliensis**, v. 17, p. 106–120, 2003.

CARVALHO, M. L. A.; LACERDA, L. D. Heavy metals in the Guanabara Bay biota: why such low concentrations? **Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**, v. 44, p. 184–186, 1992.

CARVER, R. . **Procedures in Sedimentary Petrology**. [s.l.: s.n.].

CAVALCANTI, C. B. **O Recife e seus Bairros**. 4ª ed. RECIFE: [s.n.].

CESÁRIO, M. F. P. **Um estudo da viabilidade do uso turístico do Rio Capibaribe no Recife**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

CHATTERJEE, M. et al. Distribution and possible source of trace elements in the sediment cores of a tropical macrotidal estuary and their ecotoxicological significance. **Environment international**, v. 33, p. 346–356, 2007.

CHITRARASU, P. et al. Studies on the heavy metal analysis of sediment at Ennore Estuary in Southeast coast of India. **Current Botany**, v. 7, n. NOVEMBER 2013, p. 1–7, 2013.

COLEMAN, M. L.; RAISWELL, R. Microbial mineralization of organic matter – mechanisms of self organization and inferred rates of precipitation of diagenetic minerals. **Philosophical Transaction of the Royal Society London**, v. A344, p. 69–87, 1993.

CORDOBA, V. C. et al. Bacia de Pernambuco-Paraíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 391–403, 2007.

COVELLI, S.; FONTOLAN, G. Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines. **Environmental Geology**, v. 30, n. 1–2, p. 34–45, 1997.

CPRM. **Projeto Piloto Mapa Geoquímica Internacional PROJETO PILOTO MAPA GEOQUÍMICO INTERNACIONAL**. [s.l.: s.n.].

CROCK, J. G.; SEVERSON, R. C.; GOUGH, L. P. Determining baselines and variability of elements in plants and soils near the Kenai National Wildlife Refuge, Alaska. **Water, Air, & Soil**

Pollution, v. 63, n. 3–4, p. 253–271, jul. 1992.

CUNHA, P. P.; PINTO, J.; DINIS, J. L. Evolução da fisiografia e ocupação antrópica na área estuarina do Rio Mondego e região envolvente (Portugal centro-oeste), desde 1947 Abstract : integrada no Plano Director Municipal da Figueira. **Territorium**, v. 93, n. 4, p. 99–124, 1997.

CURTIS, C. D. Mineralogical consequence og organic matter degradation in sediments: inorganic/organic diagenesis. In: LEGGET, J. K.; ZUFFA, G. G. (Eds.). . **Marine Clastic Sedimentology - Concepts ad Case Studies**. [s.l.] Graham and Troman Inc. Norwell, 1987. p. 108–123.

DE JESUS, H. C. et al. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da ilha de Vitória-es. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 378–386, 2004.

DELGADO, J. et al. Sea-level rise and anthropogenic activities recorded in the late Pleistocene/Holocene sedimentary infill of the Guadiana Estuary (SW Iberia). **Quaternary Science Reviews**, v. 33, p. 121–141, 2012.

DÍAZ-ASENCIO, M. et al. One century sedimentary record of Hg and Pb pollution in the Sagua estuary (Cuba) derived from 210Pb and 137Cs chronology. **Marine Pollution Bulletin**, v. 59, n. 4–7, p. 108–115, 2009.

DIN, Z. B. Use of aluminium to normalize heavy-metal data from estuarine and coastal sediments of Straits of Melaka. **Marine Pollution Bulletin**, v. 24, n. 10, p. 484–491, 1992.

DOMINGUEZ, J. M. L. et al. Geologia Do Quaternário Costeiro Do Estado De Pernambuco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 1–4, p. 208–215, 1990.

DUARTE, R. X. **Caracterização Morfo-Sedimentológica e Evolução a Curto Prazo das Praias do Pina, Boa Viagem e Piedade, Recife/Jaboatão dos Guararapes - PE**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2002.

DYER, K. R. Sediment transport processes in estuaries. **Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Developments in Sedimentology**, v. 53, p. 423–449, 1995.

ELLIOTT, M. et al. The Need for Definitions in Understanding Estuaries. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 55, p. 815–827, 2002.

FADIGAS, F. DE S. et al. Estimation of Reference Values for Cadmium, Cobalt, Chromium, Copper, Nickel, Lead, and Zinc in Brazilian Soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 37, n. 7–8, p. 945–959, jun. 2006.

FEITOSA, F. A. N. ; PASSAVANTE, J. Z. . Variação saonal da biomassa primária do fitoplâncton da Baía do Pina (Recife-Pernambuco-Brasil). **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, v. 21, p. 33–46, 1990.

FEITOSA, F. A. N.; NASCIMENTO, F. C. R.; COSTA, K. M. P. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na Baía do Pina, Recife-PE. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**1, v. 27, n. 2, p. 1–13, 1999.

FIGUEIRA, R. et al. Goiana, Ten Years Later. Instrumental analysis by gamma spectrometry of low level Cs-137 in marine samples. **IAEA**, v. 7, p. 327–329, 1998.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. A study in the Significance of Grain-Size Parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, n. 1, p. 3–26, 1957.

FÖRSTNER, U.; AHLF, W.; CALMANO, W. **Metal interaction with organic solids in**

estuarine waters - experiments on the combined effects of salinity and organic chelators. International Conference: Environmental Contamination. **Anais...**1984

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. **Metal pollution in the aquatic environment.** [s.l.] Springer Science & Business Media, 2012.

FREIRE, G. S. S. et al. Geochemistry of continental shelf sediments of the Ceará Coast, North-Eastern Brazil. In: LACERDA, L. D. et al. (Eds.). **Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments.** [s.l.] Springer-Verlag, 2004. p. 365–377.

FREYRE, G. **Nordeste: aspectos da influência da cana sobre a vida e a paisagem do Nordeste do Brasil.** 7ª ed. São Paulo: Global, 2004.

FRIEDMAN, G. M.; SANDERS, J. E. **Principles of Sedimentology.** New York: Wiley, 1978.

FROELICH, P. N. et al. Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: suboxicdiagenesis. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 43, p. 1075–1090, 1979.

GALUSZKA, A. Different approaches in using and understanding the term “Geochemical Background” - practical implications for environmental studies. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 16, n. 3, p. 389–395, 2007.

GROUSSET, F. E. et al. A 70 year Record of Contamination from Industrial Activity Along the Garonne River and its Tributaries (SW France). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 48, n. 3, p. 401–414, mar. 1999.

GUERRA, A. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

HAKANSON, L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. **Water Research**, v. 14, n. 8, p. 975–1001, 1980.

HANESCH, F.; SCHOLGER, R. Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements. **Environmental Geology**, v. 42, p. 857–870, 2002.

HELLER, F.; STRZYSZCZ, Z.; MAGIERA, T. Magnetic record of industrial pollution in forest soils of upper Silesia, Poland. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, p. 17767–17774, 1998.

HERUT, B.; SANDLER, A. Normalization methods for pollutants in marine sediments : review and recommendations for the Mediterranean. 2006.

HO, H. H. et al. Necessity of normalization to aluminum to assess the contamination by heavy metals and arsenic in sediments near Haiphong Harbor, Vietnam. **Journal of Asian Earth Sciences**, v. 56, p. 229–239, 2012.

HOFMANN, V.; KNAB, M.; APPEL, E. Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution. **Journal geochemical Exploration**, v. 66, p. 313–326, 1999.

HU, G. et al. Distribution and assessment of heavy metals off the Changjiang River mouth and adjacent area during the past century and the relationship of the heavy metals with anthropogenic activity. **Marine Pollution Bulletin**, v. 96, p. 434–440, 2015.

IBÁÑEZ, C.; PRAT, N.; CANICIO, A. Changes in the hydrology and sediment transport produced by large dams on the lower Ebro River and its estuary. **Regulated Rivers: Research and Management**, v. 12, n. November 1994, p. 51–62, 1996.

IBGE. **Censo Demográfico 2010.** Rio de Janeiro: [s.n.].

- JHA, S. K.; CHAVAN, S. B.; SABASIVAN, S. Geochronology of Pb and Hg pollution in coastal marine environment usin global fallout. **Journal of environmental radioactivity**2, v. 69, p. 145–157, 2003.
- JIANG, J. et al. Background, baseline, normalization, and contamination of heavy metals in the Liao River Watershed sediments of China. **Journal of Asian Earth Sciences**, v. 73, p. 87–94, 2013.
- KARAGEORGIS, A. P.; KATSANEVAKIS, S.; KABERI, H. Use of Enrichment Factors for the Assessment of Heavy Metal Contamination in the Sediments of Koumoundourou Lake, Greece. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 204, n. 1–4, p. 243–258, nov. 2009.
- KEGEL, W. O conglomerado do Cabo. **Arquivos de Geologia**, v. 1, p. 3–35, 1959.
- KNIGHT, J.; FITZGERALD, D. M. Towards an undestanding of the morphodynamics and sedimentary evolution of Estuaries. In: FITZGERALD, D. M.; KNIGHT, J. (Eds.). . **High Resolution Morphodynamics and Sedimentary Evolution of Estuaries**. [s.l.] Springer Berlin Heidelberg, 2005. p. 1–10.
- LACERDA, L. D. et al. Manguezais do Nordeste e mudanças ambientais. **Ciência Hoje**, v. 39, n. 229, p. 24–49, 2006.
- LANA, P. C. M.; COUTO, E. C.; ALMEIDA, M. V. O. Polychaete distribution and abundance in intertidal flats of Paranaguá Bay (SE Brazil). **Bulletin Marine Science**, v. 60, n. 2, p. 433–442, 1997.
- LARGIER, J. L. Estuarine Fronts: How important are they? **Estuaries**1, v. 16, n. 1, p. 1–11, 1993.
- LARSONNEUR, C.; BOUYASSE, P.; AUFFRET, J.-P. The superficial sediments of the English Channel and its Western Approaches. **Sedimentology**1, v. 29, p. 851–864, 1982.
- LEIVUORI, M. Heavy metal contamination in surface sediments in the Gulf of Finland and comparison with the Gulf of Bothnia. **Chemosphere**, v. 36, n. 1, p. 43–59, 1998.
- LI, X. D. et al. Heavy Metal Distribution in the sediment profiles of the Pearl River Estuary, South China. **Applied Geochemistry**, v. 15, p. 567–581, 2000.
- LIAGHATI, T.; PREDA, M.; COX, M. Heavy metal distribution and controlling factors within coastal plain sediments, Bells Creek catchment, southeast Queensland, Australia. **Environment international**2, v. 29, p. 935–948, 2003.
- LIMA FILHO, M. F. **Análise Estratigráfica e Estrutural da Bacia Pernambuco**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 1998.
- LORING, D. H. Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments. **ICES Journal of Marine Science**, v. 48, n. 1, p. 101–115, 1 maio 1991.
- LORING, D. H.; RANTALA, R. T. T. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. **Earth Science Reviews**, v. 32, n. 4, p. 235–283, 1992.
- LUOMA, S. N.; RAINBOW, P. S.; LUOMA, S. N. Metal contamination in aquatic environments: science and lateral management. **Choice: Current Reviews for Academic Libraries**, v. 46, n. 11, p. 588, 2008.
- MACÊDO, R. J. A. **Caracterização morfodinâmica e geoambiental da praia de Maracáipe, Ipojuca – PE**. [s.l.] Univerisidade Federal de Pernambuco, 2011.
- MACEDO, S. J. et al. 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**, v. 102, p. 357–365, 2007.

MACIEL, N. C. **Alguns aspectos da ecologia do manguezal**. Alternativas de uso e proteção dos manguezais do Nordeste - CPRH. **Anais...RECIFE: Séries Publicações Técnicas**, 1991

MAHIQUES, M. M. et al. 150 years of anthropogenic metal input in a Biosphere Reserve: the case study of the Cananéia–Iguape coastal system, Southeastern Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 68, n. 4, p. 1073–1087, 5 fev. 2013.

MAHIQUES, M. M. DE et al. ANTHROPOGENIC INFLUENCES IN A LAGOONAL ENVIRONMENT: A MULTIPROXY APPROACH AT THE VALO GRANDE MOUTH, CANANÉIA-IGUAPE SYSTEM (SE BRAZIL). **BRAZILIAN JOURNAL OF OCEANOGRAPHY**, v. 57, n. 4, p. 325–337, 2009.

MAI. **PROJETO MAI - PROJETO MONITORAMENTO AMBIENTAL INTEGRADO - AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE EROÇÃO COSTEIRA NOS MUNICÍPIOS DE PAULISTA, OLINDA, RECIFE E JABOATÃO DOS GUARARAPES**. [s.l: s.n.].

MANSO, V. DO A. V. et al. Pernambuco. **Erosão e progradação do litoral brasileiro - Pernambuco**, p. 179–196, 2006.

MARCONDES, A. C. J. Sedimentologia e Morfologia da Bacia do Pina , Recife-PE. p. 89 p., 2009.

MARQUES, J. S. J. et al. Geoquímica de Metais em Sedimentos da Zona Estuarina do Complexo Industrial Porto de Suape, PE - Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 4, p. 379–387, 2011a.

MARQUES, J. S. J. et al. Geoquímica de Metais em Sedimentos da Zona Estuarina do Complexo Industrial Porto de Suape, PE - Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 4, p. 379–387, dez. 2011b.

MARTINS, C. C. et al. Comparison between anthropogenic hydrocarbons and magnetic susceptibility in sediment cores from the Santos Estuary, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 54, n. 2, p. 240–246, 2007.

MARTINS, S. E. M. et al. Depositional evolution in a estuarine lagoonal system under a port influence in Northeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 75, n. sp1, p. 84–88, 2016.

MATSCHULLAT, J. Arsenic in the geosphere — a review. **Science of The Total Environment**, v. 249, n. 1, p. 297–312, 2000.

MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN, R.; REIMANN, C. Geochemical background - can we calculate it? **Environmental Geology**, v. 39, n. 9, p. 990–1000, 14 jul. 2000.

MATTHIESSEN, P.; LAW, R. J. Contaminants and their effects on estuarine and coastal organisms in the United Kingdom in the late twentieth century. **Environmental Pollution**, v. 120, p. 739–757, 2002.

MELO, J. G. S. et al. **Análise espaço temporal do manguezal do baixo curso do rio Capibaribe, Recife-PE: uma contribuição para o gerenciamento ambiental**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - INPE. **Anais...2011**

MELO, V. . et al. MINERALOGIA DAS FRAÇÕES AREIA, SILTE E ARGILA DE SEDIMENTOS DO GRUPO BARREIRAS NO MUNICÍPIO DE ARACRUZ, ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (1). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, p. 29–41, 2002.

- MELO, V. M. **Dinâmica de paisagens de rios urbanos**. Anais do XI Encontro nacional da associação nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em planejamento Urbano E Regional – ANAPUR. **Anais...**Salvador: 2005
- MENDES, G. P. **Sedimentologia e Morfodinâmica da Praia de Guadalupe, município de Sirinhaém - PE**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2000.
- MENDES, N. M. T. DO N. S. **Background geooquímico para sedimentos de regiões estuarinas de Pernambuco**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2015.
- MENZES, J. L. M. **Visão histórica do Capibaribe**. [s.l.] Cadernos Urbanos - Prefeitura da Cidade do Recife, 1991.
- MEYERS, P. A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. **Organic Geochemistry**1, v. 27, p. 213–250, 1997.
- MORAD, S.; KETZER, J. M.; DE ROS, L. F. Spatial and temporal distribution of diagenetic alterations in siliciclastic rocks: implication for mass transfer in sedimentary basin. **Sedimentology**, v. 47, p. 95–120, 2000.
- MORRIS, W. A. et al. Preliminary comparison between mutagenicity and magnetic susceptibility of respirable airborne particulate. **Atmosphere Environmental**, v. 29, p. 3441–3450, 1995.
- MOURA, G. B. A. **A influência dos ventos e da temperatura dos oceanos Atlântico e Pacífico na variabilidade na precipitação no leste do nordeste do Brasil: observações e modelos estatísticos de previsão**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2001.
- MUEHE, D. **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- MÜLLER, G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. **GeoJournal**, v. 2, p. 108–118, 1969.
- NASCIMENTO, F. C. R. . et al. Disponibilidade nutricional da Bacia do Pina e rio Tejiupió (Recife- PE- Brasil) em relação aos nutrientes e biomassa primária (setembro/2000). **Tropical Oceanography**2, v. 31, n. 2, p. 149–169, 2003.
- NORONHA, T. J. M. DE; SILVA, H. K. P. DA; DUARTE, M. M. M. B. Avaliação das concentrações de metais pesados em sedimentos do estuário do rio Timbó, Pernambuco-Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 44, n. 2, p. 70–82, 2011.
- O'REILLY WIESE, S. B. et al. Trends in mobility of metals in the Thames Estuary in recent decades and the implications with regard to metal transport to Essex salt marsh areas. **Estuaries**, v. 18, p. 494–503, 1997.
- OLIVEIRA, T. DE S. **Processo Sedimentar Atual e Distribuição da Matéria Orgânica no Sistema Estuarino dos Rios Capibaribe, Beberibe e Bacia do Pina (Recife-PE)**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2014.
- OLIVEIRA, T. DE S. et al. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 14, n. 3, p. 399–411, set. 2014.
- PAIVA, F. M. L.; DINIZ, L. S.; CATÃO, R. C. **Análise de volumes de espera para as principais barragens do rio Capibaribe**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**São Paulo: 2007Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=3&ID=19&PAG=2%3E>>

- PATCHINEELAM, S. R.; SMOAK, J. M. Sediment accumulation rates along the inner eastern Brazilian continental shelf. **Geo-Marine Letters**, v. 19, n. 3, p. 196–201, 1999.
- PAULA FILHO, F. J. DE et al. Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments in the Parnaíba River Delta estuary, NE/Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 91, p. 424–428, 2015.
- PEDROSA, F. J. A. et al. **Projeto Carta Geotécnica da Cidade do Recife** FINEP/UFPE, , 1995.
- PEREIRA, O. **Histórias do Pina**. RECIFE: FUNDAÇÃO DE CULTURA DA CIDADE DO RECIFE - PREFEITURA DO RECIFE, 2008.
- PÉREZ, J. M. S.; SOUZA, G. F. C. **El Desafio Holandés Al Dominio Ibérico en Brasil en El Siglo XVII**. Salamanca - Espanha: Ediciones Universidad Salamanca, 2006.
- PERILLO, G. M. . Definitions and geomorphologic classifications of estuaries. In: **Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Developments in Sedimentology**1. New York: Elsevier, 1995. p. 17–47.
- PERILLO, G. M. . et al. The Baía Blanca Estuary, Argentina. In: SEELIGER, U.; KJERFVE, B. (Eds.). . **Coastal Marine Ecosystems of Latin America**. Berlin: Springer-Verlag, 2000. p. 205–217.
- PETTIJOHN, F. J. **Sedimentary Rocks**. 2. ed. New York: Harper & Row, 1975.
- PONTUAL, V. Tempos do Recife: representações culturais e configurações urbanas. **Revista Brasileira de História**, v. 21, n. 42, p. 417–434, 2001.
- PRASAD, K. B. K.; DITTMAR, T.; RAMANATHAN, A. L. Organic matter and Mangrove productivity. In: RAMANATHAN, A. L. et al. (Eds.). . **Management and Sustainable development of coastal zone Environments**. [s.l.] Springer-Verlag, 2010. p. 175–193.
- QUINAMO, L. DE A. Caracterização sedimentológica e aspectos geoambientais das praias do litoral sul de Pernambuco. 2013.
- REIMANN, C.; FILZMOSER, P.; GARRETT, R. G. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. **Science of The Total Environment**, v. 346, n. 1, p. 1–16, 2005.
- REIMANN, C.; GARRETT, R. G. Geochemical background—concept and reality. **Science of The Total Environment**, v. 350, n. 1, p. 12–27, 2005.
- ROACH, A. C. Assessment of metals in sediments from Lake Macquarie, New South Wales, Australia, using normalisation models and sediment quality guidelines. **Marine Environmental Research**, v. 59, n. 5, p. 453–472, 2005.
- ROCHA, D. E. G. A. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: carta geológica, carta metalogenética/previsional. Escala 1/100.000 (Folha SC. 25-V-A-II - Vitória)**. Estado de Pernambuco.DNPM/CPRM, , 1990.
- RODRIGUES, A. S. DE L.; NALINI JÚNIOR, H. A. Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 62, n. 2, p. 155–165, jun. 2009.
- ROUSSIEZ, V. et al. Background levels of heavy metals in surficial sediments of the Gulf of Lions (NW Mediterranean): An approach based on Cs-133 normalization and lead isotope measurements. **Environmental Pollution**, v. 138, n. 1, p. 167–177, 2005.

SAITO, R. T. et al. ^{210}Pb and ^{137}Cs geochronologies in the Cananeia-Iguape Estuary (São Paulo, Brasil). **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 249, n. 1, p. 257–261, 2001.

SANDERS, C. J. et al. Mercury flux to estuarine sediments, derived from Pb-210 and Cs-137 geochronologies (Guaratuba Bay, Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, v. 52, n. 9, p. 1085–1089, 2006.

SANTOS, F. M. M. Uso de geotecnologias para mapeamento de manguezais. **Boletim Científico ESMPU**, v. 10, n. 35, p. 137–156, 2011.

SANTOS, T. G. . et al. Dinâmica da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário tropical (Bacia do Pina, Recife, PE). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 4, n. 1, p. 95–109, 2009.

SARTORETTO, J. R. Histórico de atividade antrópica no Sistema Estuarino Santos e São Vicente. **Dissertação**, p. 140, 2014.

SATAPATHY, D. R.; PANDA, C. R. Spatio-temporal distribution of major and trace metals in estuarine sediments of Dhamra, Bay of Bengal, India--its environmental significance. **Environmental monitoring and assessment**, v. 187, n. 1, p. 4133, 2015.

SCHAEFFER NOVELLI, Y. **Grupo de ecossistemas: Manguezal, Marisma e Apicum**. São Paulo: Pronabio - Programa Nacional de Diversidade Biológica - ANP, 1999.

SCHETTINI, C. A. F. et al. Observation of an Estuarine turbidity maximum in the highly impacted capibaribe estuary, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 2, p. 185–190, 2016a.

SCHETTINI, C. A. F. et al. The circulation of the lower Capibaribe Estuary (Brazil) and its implications for the transport of scalars. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 3, p. 263–276, 2016b.

SCHROPP, S. J.; WINDOM, H. L. A Guide To the Interpretation of Metal Concentrations in Estuarine Sediments. n. April, p. 74, 1988.

SHEPARD, F. P. Nomenclature Based on Sand, Silt, Clay Ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 24, p. 151–158, 1954.

SILVA, H. K. P.; MACEDO, S. J.; BRAYNER, F. M. M. AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS TRAÇO NOS SEDIMENTOS DO PARQUE DOS MANGUEZAIS, REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (RMR), PERNAMBUCO, BRASIL. **Tropical Oceanography**, v. 38, n. 2, p. 174–180, 2010.

SILVA, J. P. **Sedimentologia, batimetria, qualidade de água e vulnerabilidade do Rio Capibaribe na cidade do Recife**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

SILVA, L. M. T. **Parahiba, uma Cidade Esquecida no Império do Brasil (1822-1859)**. [s.l.] Universidade Federal Fluminense, 2007.

SKOOG, D. A. ; HOLLER, F. J. .; NIEMAN, T. A. **Princípios de Análise Instrumental**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SRHE. **Portal da secretaria de Recursos Hídricos do Governo do Estado de Pernambuco**. Disponível em: <<http://www.srhe.pe.gov.br/>>. Acesso em: 14 jul. 2014.

STRZYSZCZ, Z.; MAGIERA, T. Magnetic susceptibility and heavy metals contaminations in soils of Southern Poland. **Physical Chemistry of the Earth**, v. 23, p. 1127–1131, 1998.

SWAZENSKI, P. et al. Historical trace element distribution in sediments from the Mississippi River Delta. **CERF**, v. 29, n. 6, p. 1094–1107, 2006.

SZEFER, P. et al. Evaluation of the anthropogenic influx of metallic pollutants into Puck Bay, southern Baltic. **Applied Geochemistry**, v. 13, n. 3, p. 293–304, maio 1998.

TAHUANA, L. B. G. et al. contaminação por chumbo e cobre em água potável: uma abordagem para o estudo de caso em química analítica. **Química Nova**, v. 35, n. 10, p. 1995–2001, 2012.

TOBIÁS, F. J.; BECH, J.; ALGARRA, P. S. Establishment of the background levels of some trace elements in soils of NE Spain with probability plots. **Science of The Total Environment**, v. 206, n. 2, p. 255–265, 1997.

TOBIÁS, F. J.; BECH, J.; SÁNCHEZ ALGARRA, P. Statistical Approach to Discriminate Background and Anthropogenic Input of Trace Elements in Soils of Catalonia, Spain. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 100, n. 1/2, p. 63–78, 1997.

TRAINI, C. et al. Distinguishing natural evolution and human impact on estuarine morpho-sedimentary development: A case study from the Vilaine Estuary, France. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 163, n. PB, p. 143–155, 2015.

TRAMONTE, K. M. et al. Environmental availability of potentially toxic elements in estuarine sediments of the Cananéia-Iguapé coastal system, Southeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 103, p. 260–269, 2016.

TRAVASSOS, P. E. P. F.; MACÊDO, S. J.; KOENING, M. L. Aspectos hidrológicos do estuário do Rio Capibaribe (Recife- PE - Brasil). **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, v. 22, p. 9–38, 1991.

TUCCI, C. E. M. Gereciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5–27, 2002.

TUREKIAN, K. K.; WEDEPOHL, K. H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. **Geological Society of America Bulletin**, v. 72, n. 2, p. 175, 1961.

UNCLES, R. J. Estuarine physical processes research: Some recent studies and progress. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 55, p. 829–256, 2002.

VASCONCELOS, R. F. A.; BEZERRA, O. G. **Atlas Ambiental do Recife**. RECIFE: Secretaria de Planejamento, Urbanismo e Meio Ambiente, 2000.

VASCONCELOS, T. L.; SÁ, L. A. C. M. A Cartografia Histórica da Região Metropolitana do Recife. **1º Simposio Brasileiro de Cartografia Histórica "Passado presente nos velhos mapas: conhecimento e poder**, p. 1–20, 2011.

VEINOTT, G.; PERRON-CASHMAN, S.; ROBIN ANDERSON, M. Baseline Metal Concentrations in Coastal Labrador Sediments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 42, n. 3, p. 187–192, 2001.

WANDERLEY, C. V. A. et al. Evaluating sedimentation rates in the estuary and shelf region of the Paraíba do Sul River, Southeastern Brazil. **Journal of Brazilian Chemistry Society**, v. 25, n. 1, p. 50–64, 2014.

WATSON, E. B. et al. Particle size characterization of historic sediment deposition from a closed estuarine lagoon, Central California. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 126, p. 23–33, 2013.

WELTJE, G. J.; VON EYNATTEN, A. Quatitative provenance analysis of sediments: Review

and outlook. **Sedimentary Geology**, n. 171, p. 1–11, 2004.

XAVIER, D. A. et al. Evolução sedimentar do estuário do rio Capibaribe (Recife-PE) nos últimos 200 anos e suas relações com a atividade antrópica e processo de urbanização. **Tropical Oceanography**, v. 44, n. 2, 2016.

XU, Y. et al. The source of natural and anthropogenic heavy metals in the sediments of the Minjiang River Estuary (SE China): Implications for historical pollution. **Science of the Total Environment**, v. 493, p. 729–736, 2014.

YU, K. C. et al. Correlation analyses on binding behavior of heavy metals with sediment matrices. **Water Research**, v. 35, n. 10, p. 2417–2428, 2001.

ZHANG, J. Heavy metal compositions of suspended sediments in the Changjiang (Yangtze River) estuary: significance of riverine transport to the ocean. **Continental Shelf Research**, v. 19, n. 12, p. 1521–1543, 1999.

ZHANG, J.; LIU, C. L. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China - Weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 54, n. 6, p. 1051–1070, 2002.

ZHANG, L. et al. Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 54, n. July 2015, p. 974–982, 2007.

ZHANG, W. et al. Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: An assessment from different indexes. **Environmental Pollution**, v. 157, n. 5, p. 1533–1543, 2009.

ZOURARAH, B. et al. Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution in the lagoon of Oualidia (Moroccan Atlantic coast). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 72, p. 359–369, 2007.