

Indicadores Geoquímicos e Biodisponibilidade de Elementos-traço em Sedimentos do Estuário do Rio Cachoeira, Ilhéus - BA, Brasil

Geochemical Proxies and Bioavailability Trace Elements in Sediments from Cachoeira River Estuary, Ilhéus - BA, Brazil

Lazaro Laut¹ , Débora Raposo¹ , Iara Clemente¹ , Fábio Veríssimo Correia¹ ,
Egberto Pereira² , Sérgio Cadena de Vasconcelos³ , João Marcelo Ballalai⁴ ,
Pierre Belart⁵ , Erminda da Conceição Guerreiro Couto⁶ 

¹ Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - UNIRIO, Departamento de Ciências Naturais, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

³ Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio, Departamento de Geografia e Meio Ambiente, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

⁴ Universidade Federal Fluminense - UFF, Programa de Pós-graduação em Geociências - Geoquímica, Niterói, RJ, Brasil

⁵ Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

⁶ Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC, Departamento de Ciências Biológicas. Laboratório de Ecologia Bêntica, Ilhéus, BA, Brasil

E-mails: lazaro.laut@gmail.com; deboraposo@gmail.com, iarammmc@gmail.com; fabio.correia@unirio.br; egberto@uerj.br; sergio.cadena82@gmail.com; joaoballalai@id.uff.br; pbelart@gmail.com; minda@uesc.br

Resumo

O estuário do rio Cachoeira (ERC) é maior estuário do sul da Bahia e recebe efluentes domésticos, agrícolas e industriais de treze municípios nos quais são potenciais fontes de matéria orgânica (MO) e de elementos-traço. Os estudos de caracterização ambiental realizados do ERC não contemplam a avaliação e caracterização de elementos-traços biodisponíveis no sedimento e sua relação com parâmetros ambientais e hidrodinâmicos. Este estudo teve como objetivo fazer a primeira avaliação da distribuição da fração biodisponível de elementos-traço no sedimento de fundo do ERC, a fim de reconhecer compartimentos ambientais e sedimentológicos associados ao grau de poluição e/ou de degradação ambiental. A amostragem foi realizada em novembro de 2016 ao longo de 30 estações pré-estabelecidas onde foram medidos em campo os parâmetros físico-químicos da coluna d'água e separado amostras destinadas as análises granulométrica e geoquímica. O estuário do rio Cachoeira mostrou grande heterogeneidade espacial das variáveis ambientais que é resultado tanto de ordem natural quanto antrópica. A influência marinha foi evidenciada por alto valores de salinidade e pH que se estende até 11 km da foz. A influência antrópica foi perceptível no aumento expressivo do percentual de MO nas estações próximas a estação de tratamento de esgoto e nas proximidades aos rios Itacanoeira e Santana. Altas concentrações de elementos-traço biodisponíveis foram encontradas no sedimento, com destaque para o As, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn que estavam em concentrações superiores aos limites estabelecidos por agência de proteção ambiental. A alta concentração de elementos-traço na fase biodisponível no ERC é resultado da alta hidrodinâmica local que é a característica de estuários de meso-maré bem misturados.

Palavras-chave: Estuário tropical; Dinâmica sedimentar; Poluição

Abstract

The Cachoeira River estuary (CRE) is the largest one in southern Bahia and receives domestic, agricultural and industrial effluents from thirteen municipalities among which they are potential sources of organic matter (OM) and trace elements. The environmental characterization studies carried out in CRE do not include the evaluation and characterization of bio-available trace elements in the sediment and its relationship with environmental and hydrodynamic parameters. This study aimed to make the first assessment of the distribution of the bioavailable trace elements in the CRE bottom sediment to recognize the environmental and sedimentological compartments associated with the pollution degree and/or environmental degradation. The sampling was carried out in November 2016 over 30 pre-established stations with measurement in the field of physical-chemical parameters in the water column and sampling for granulometric and geochemical analysis. The CRE showed great spatial heterogeneity of environmental variables, which is a result of both natural and anthropic order. The marine influence was evidenced by high salinity and pH values that extend up to 11 km from the mouth. The anthropic influence was high notable for the increase in OM percentage in the stations near the sewage treatment plant and the vicinity of the Itacanoeira and Santana rivers. High concentrations of bioavailable trace elements were found in the sediment, with emphasis for As, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn, which were in concentrations above the limits established by an environmental protection agency. The high concentration of trace elements in the bioavailable phase in the CRE is a result of the high local hydrodynamics that is the characteristic of well-mixed meso-tide estuaries.

Keywords: Tropical estuary; Sedimentary dynamic; Pollution



1 Introdução

Estuários tropicais são ecossistemas costeiros com alta produtividade biológica e que apresentam expressiva importância socioambiental, servindo de abrigo para uma rica biodiversidade de organismos adaptados às constantes oscilações ambientais e fornecendo recursos para as cidades que os cercam. Por serem regiões abrigadas da hidrodinâmica marinha, esses ecossistemas são utilizados para navegação, pesca, aquicultura e recreação, e por essa razão estão sujeitos a receber efluentes domésticos e industriais, muitas vezes *in natura*. Além disso, sofrem com a remoção ou substituição da vegetação original para criação de cidades e portos (Flemer & Champ 2006; Marins, Filho & Rocha 2007).

Em um cenário onde a capacidade de dispersão e purificação de efluentes de um estuário é excedida, contaminantes orgânicos e inorgânicos carregados (e.g. matéria orgânica, nutrientes e elementos-traço) podem comprometer a qualidade da água e do sedimento desses ecossistemas (Levenson 1987; Rabalais 2002; Tappin, 2002). O acúmulo de matéria orgânica (MO) e nutrientes acelera o processo de eutrofização, enquanto o enriquecimento de elementos-traço pode levar estes a concentrações tóxicas e acarretar sérias ameaças aos organismos e a sociedade (Stankovic, Kalaba & Stankovic 2014). Os elementos-traço são poluentes extremamente persistentes em ecossistemas aquáticos, pois possuem alta afinidade com o sedimento fino e com a matéria orgânica. Estes elementos não são degradados facilmente e tendem a bioacumular e biomagnificar na teia trófica caso sejam disponibilizados através dos processos oxidativos na água e no sedimento (Gu et al. 2011; Ip et al. 2004). Desta forma, é importante entender a distribuição espacial desses contaminantes e seus mecanismos de acumulação no sedimento como o primeiro passo para a gestão e monitoramento de ambientes costeiros.

Estudos visando à caracterização ambiental de estuários do litoral nordeste brasileiro verificaram que muitos destes recebem efluentes com alta carga de matéria orgânica e inorgânica, através de estações de tratamento ineficientes e de fontes poluidoras não pontuais (Feitosa, Nascimento & Costa 1999; Koenig et al. 2002; Marins, Filho & Rocha 2007). Dentro deste contexto encontra-se o estuário do rio Cachoeira (ERC) que é o maior estuário do sul da Bahia e recebe efluentes de 13 municípios, destacando-se Itabuna e Ilhéus como os mais populosos da região (Bahia 2001).

Os estudos de Souza et al. (2009) e Silva, Souza & Abreu (2015) no ERC verificaram elevada concentração de nutrientes dissolvidos e clorofila-*a* associados ao início das operações da estação de tratamento de efluentes (ETE) inaugurada no ano de 2000 na porção superior do estuário.

Esta ETE fornece apenas tratamento primário e despeja efluente ainda rico em nutrientes diretamente no estuário (Guimarães 2006). Pinho (2001), por sua vez, relatou evidências de eutrofização na porção mais interna do estuário, e Fidelman (2005) alertou sobre a deposição de esgotos não tratados e resíduos sólidos ao longo do estuário e no manguezal. Além dos efluentes antrópicos, o ERC recebe uma grande contribuição de MO do manguezal através da decomposição da vegetação principalmente de *Rhizophora mangle* (mangue-vermelho) e *Laguncularia racemosa* (mangue-branco) (Oliveira, Rizzo & Couto 2013).

Os estudos de caracterização ambiental realizados do ERC não contemplam a avaliação e caracterização de elementos-traço no sedimento. A região da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, principalmente o trecho que corta a cidade de Itabuna, contam com um número expressivo de indústrias de diversos setores, como o alimentício, têxtil, de eletrodomésticos, móveis de madeira e materiais de construção que despejam seus resíduos diretamente ou parcialmente no rio (Bahia 2017). Além disso, 76% da vegetação adjacente ao rio Cachoeira já foi desmatada ou substituída por unidades de cultivo de cacau e pastagens para pecuária. Essas são atividades com potencial emissão de elementos-traço no ambiente como Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmiio (Cd), Chumbo (Pb), Manganês (Mn) e Mercúrio (Hg) (ATSDR 2018). Dentre estes elementos, Hg, Pb, Cd e As, em sua forma orgânica ou iônica são altamente tóxicos a biota e aos seres humanos, mesmo em baixas concentrações (Ip et al. 2004; Gu et al. 2011).

Assim, este estudo propõe a primeira avaliação da distribuição da fração biodisponível desses elementos no sedimento do ERC e a sua relação com a hidrodinâmica, aporte de matéria orgânica e demais variáveis ambientais. O presente estudo espera fornecer uma base de dados que contribua para a caracterização ambiental deste corpo hídrico e para a identificação das regiões de maior acúmulo de elementos-traço.

2 Área de Estudo

O rio Cachoeira está inserido na região hidrográfica da Bacia do Leste no Sul do estado da Bahia. É formada pelo encontro dos rios Salgado e Colônia, e banha os municípios de Itapé, Itabuna e Ilhéus. Do ponto de vista geotectônico, a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira está compreendida na borda sudeste do Cráton do São Francisco, unidade formada por terrenos cratonizados no final do ciclo Transamazônico (2,1 – 1,9 bilhões de anos). O seu território apresenta orientação Oeste-Leste, no Cinturão Itabuna (Arqueano/Proterozóico Inferior), desde o contato com o bloco Jequié até o Oceano Atlântico (CPRM 1997).

O Cinturão Itabuna é formado por rochas da Suíte Intrusiva Rio Paraíso ($\sigma 1a$), constituída por granitos e monzonitos (Dana 1976). O extremo sudeste da bacia, próximo ao litoral, encontra-se sob o domínio dos sedimentos do Grupo Barreiras (Barbosa & Domingues 1996).

A região estuarina do rio Cachoeira ($14^{\circ}45'$ a $14^{\circ}50'S$ e $39^{\circ}05'$ a $39^{\circ}01'O$) alvo deste estudo corresponde uma área de aproximadamente 16 km^2 formada pelo encontro dos rios Cachoeira, Santana e Itacanoeira no município de Ilhéus (Almeida et al. 2006; Bahia 2001) (Figura 1). O estuário é caracterizado por regime de mesomare com característica semidiurna (Franco, Lavenère-Wanderley & Moreau 2006) com amplitude entre 0,1 e 2,1 m (DHN 2016).

O clima na região estuarina é classificado como equatorial, com temperatura média anual de $23,3^{\circ}\text{C}$ e precipitação superior a 2.000 mm/ano . Os menores valores pluviométricos costumam ser entre os meses de maio a outubro e os mais chuvosos de novembro a abril (Engelbrecht et al. 2019). A descarga pluvial média anual é de $24,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, com recordes históricos de mínima de $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e máxima de $1.460 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Bahia 2001; Schiavetti, Schilling & Oliveira 2005).

A bacia hidrográfica do rio Cachoeira apresenta variações sazonais de escoamento dos rios provocadas pelo regime de chuvas diferenciado entre a região do alto curso, região dos rios Salgado e Colônia e do baixo curso na região de Ilhéus. Durante a estiagem, a vazão média mensal

no rio Cachoeira permanece abaixo de $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$, enquanto no período chuvoso as vazões médias são superiores a $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Engelbrecht et al. 2019).

Na região da bacia de drenagem do rio Cachoeira segundo Amorin et al. (2010) é possível identificar quatro perfis de solos distintos com diferente usos e coberturas: (1) Argissolo - localiza-se no relevo suave a ondulado da planície do rio Cachoeira, que favorece a erosão laminar e consequente gradiente textural; (2) Latossolo - encontra-se em posição mais elevada no relevo, o que possibilita boa drenagem e a remoção de sílica e bases. Seu uso atual é de loteamento para construção imobiliária. Ambas as classes são utilizadas para o cultivo de cacau na zona rural; (3) Neossolo se encontra na Restinga, que apresenta vegetação predominante de gramíneas, seu uso atual é o cultivo de coco e caju; (4) Espodossolo - localiza-se em área de mata, tendo maior aporte de matéria orgânica.

A zona estuarina abriga um zona de manguezais que cobrem uma área de aproximadamente 13 km^2 com vegetação em estágios arbustivos e semi-arbustivos, e uma faixa de restinga com vegetação arbórea e rasteira que se desenvolvem sobre os depósitos arenosos do Quaternário (Franco, Lavenère-Wanderley & Moreau 2006; Guimarães, 2006; Oliveira 1997). Estes manguezais vêm sofrendo sérios danos como o surgimento de aterros imobiliários, despejos de efluentes domésticos e industriais e a retirada de areia do leito do rio para atender a demanda da construção civil (Fidelman 2005).

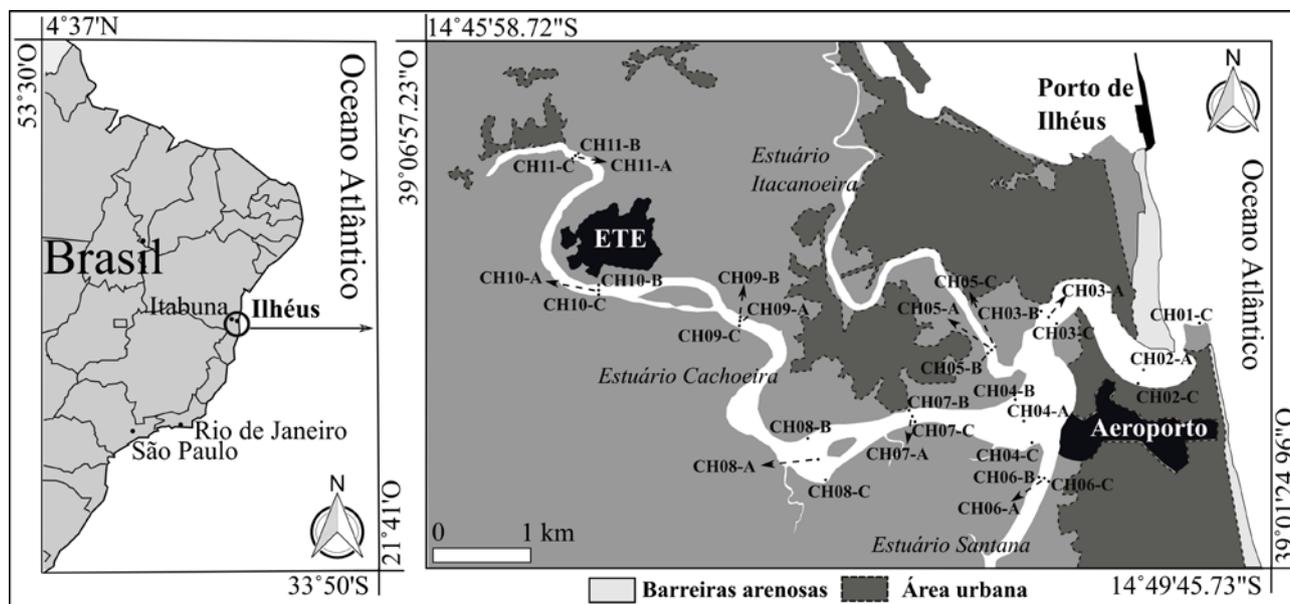


Figura 1 Pontos de amostragem no estuário do rio Cachoeira e localização da estação de tratamento de esgoto (ETE), do rio Santana e rio Fundão.

A remoção da vegetação de manguezal, associada ao aporte de contaminantes e ao material orgânico proveniente do rio e do continente, tornam o ERC vulnerável a mudanças nos seus ciclos biogeoquímicos. De fato, o estuário já foi identificado como um ambiente super eutrofizado, principalmente nos meses de estiagem devido à baixa descarga fluvial (Lucio 2010). No rio Cachoeira durante o período de baixa pluviosidade a diluição da carga de esgoto diminuiu ocorrendo o aumento da concentração de nitrogênio e fósforo. Este fato é acentuado pelo aumento do tempo de residência dessa água no rio, já que o escoamento fluvial em direção ao estuário é muito pequeno durante esse período (Lucio 2010).

3 Materiais e Métodos

3.1 Amostragem

A coleta de sedimento de fundo do ERC foi realizada entre os dias 11 e 14 de novembro de 2016 ao longo de 30 estações amostrais pré-estabelecidas (Figura 1). As estações foram distribuídas ao longo de 11 transectos englobando a calha (identificadas com terminação "A"), a margens direita ("B") e esquerda ("C") do estuário. Devido a dificuldades de navegação, foi coletada amostra em apenas uma estação no transecto CH01 (CH01-C) e duas estações no transecto CH02 (CH02-A e CH02-C). As coordenadas geográficas e as características visuais das estações amostrais encontram-se dispostas na Tabela 1. Durante o período amostral a média mensal de precipitação foi baixa (0,23 mm), contudo no dia 14 de novembro de 2016 foi registrado 18 mm de chuva segundo os dados do Instituto Nacional de Meteorologia.

As coletas de sedimento foram conduzidas de uma embarcação de pesca com o apoio de uma embarcação de pequeno calado para as regiões mais rasas. Para a coleta de sedimento foi utilizado um amostrador do tipo *Ekman* que permitiu a separação do primeiro centímetro superficial de sedimento sem grandes distúrbios na camada.

O sedimento foi coletado em quantidades suficientes para seguir a metodologia padrão de análises de granulometria, MO e carbonato (CO_3), carbono orgânico total (COT), enxofre total (ST) e elementos-traço biodisponíveis.

As variáveis físicas e químicas na interface entre a coluna d'água e o sedimento: profundidade, pH, salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), clorofila (Chl), turbidez e total de sólidos dissolvidos (TDS) foram medidas em campo utilizando a sonda multiparâmetros YSI, 6600-V2. Para a avaliação da transparência da coluna d'água foi utilizado um disco de Secchi (Tabela 2).

3.2 Granulometria, Matéria Orgânica (MO) e Carbonato (CO_3)

As análises granulométricas foram realizadas utilizando $\pm 1,5$ g de sedimento seco em estufa a 100°C . A matéria orgânica foi removida utilizando peróxido de hidrogênio (H_2O_2 , 10%) e aquecendo a reação em banho-maria. Após secagem em estufa a 100°C , o sedimento remanescente foi pesado para calcular a porcentagem de MO. Em seguida, realizou-se ataque com ácido clorídrico para remoção da fração de compostos carbonáticos. O sedimento foi seco novamente em estufa a 100°C e pesado para calcular a porcentagem de carbonato (CO_3). A fração insolúvel remanescente foi analisada no analisador de partículas de difração a laser Cilas 1190. No *software Statistica v. 7.0* foi realizado diagrama ternário de análise textural, onde pontos representando cada estação foram plotados de acordo com a porcentagem de areia, silte e argila usando-se a classificação de Flemming (2000).

3.3 Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre Total (ST)

Para as análises de COT e ST foi realizada pulverização do sedimento com auxílio de gral e pistilo, seleção da fração $< 80 \mu\text{m}$ e pesagem de $0,250 \text{ g} \pm 0,005 \text{ g}$. Seguiu-se com o ataque ácido utilizando HCl 37% e posterior lavagem (processo repetido seis vezes). Após secagem em banho de luz por 24 horas e pesagem do sedimento remanescente, foi realizada a análise do percentual de COT e ST com o analisador LECO SC 632, de acordo com as metodologias padronizadas pela Sociedade Americana para Materiais e Testes - Método ASTM D4239 (ASTM 2008) e Agência de proteção ambiental dos EUA - Método NCEA-C-1282 (USEPA, 2002).

3.4 Elementos-traço Biodisponíveis

Os elementos químicos analisados neste estudo foram Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Césio (Cs), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Estrôncio (Sr) e Zinco (Zn). Para a análise foi realizada a digestão das amostras em ácido nítrico bidestilado durante 4 h e em aquecimento a 100°C , em proporção de 50 mg de sedimento para 0,5 ml de ácido. Após o resfriamento, adicionou-se água ultrapura (resistividade $> 18 \text{ M}\Omega \text{ cm}$) até completar o volume de 5 mL e prosseguiu-se com a análise no espectrometro de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), modelo ELAN DRC II (Perkin Elmer-Sciex, Norwalk, CT, USA). Brancos das amostras foram realizados para manter o controle de qualidade da análise.

Tabela 1 Localização geográfica das estações amostrais e características das áreas de amostragem.

Estação	Lat. (S)	Long. (O)	Características do local
CH01-C	14°48'15.1"	039°01'30.5"	Delta de maré enchente – influência da deriva litorânea
CH02-A	14°48'32.8"	039°01'56.3"	Delta de maré enchente
CH02-C	14°48'39.3"	039°01'59.9"	Alta densidade demográfica
CH03-A	14°48'13.8"	039°02'25.6"	Proximidade à foz, alta densidade demográfica e reduzida vegetação de manguezal às margens.
CH03-B	14°48'10.7"	039°02'30.0"	
CH03-C	14°48'16.0"	039°02'22.3"	
CH04-A	14°48'53.9"	039°02'41.9"	Próximo ao encontro dos estuários dos rios Itacanoeira e Santana.
CH04-B	14°48'45.5"	039°02'44.6"	
CH04-C	14°49'02.7"	039°02'39.3"	
CH05-A	14°48'28.4"	039°02'50.7"	Conexão com o rio Itacanoeira. Alta densidade demográfica à montante.
CH05-B	14°48'28.6"	039°02'52.7"	
CH05-C	14°48'28.3"	039°02'48.9"	
CH06-A	14°49'14.0"	039°02'35.9"	Conexão com o rio Santana. Vegetação de manguezal às margens.
CH06-B	14°49'13.6"	039°02'38.7"	
CH06-C	14°49'15.6"	039°02'34.3"	
CH07-A	14°48'51.4"	039°03'17.4"	Alta densidade demográfica
CH07-B	14°48'48.7"	039°03'18.7"	
CH07-C	14°48'53.9"	039°03'16.7"	
CH08-A	14°49'08.2"	039°03'56.6"	Densa vegetação de manguezal às margens
CH08-B	14°48'58.6"	039°04'00.0"	
CH08-C	14°49'15.3"	039°03'54.5"	
CH09-A	14°48'14.7"	039°04'29.4"	ETE à montante. Densa vegetação de manguezal às margens.
CH09-B	14°48'12.7"	039°04'28.7"	
CH09-C	14°48'16.7"	039°04'30.1"	
CH10-A	14°48'00.9"	039°05'32.4"	Região de lançamento de efluentes da ETE.
CH10-B	14°47'58.9"	039°05'31.9"	
CH10-C	14°48'03.2"	039°05'33.0"	
CH11-A	14°47'01.6"	039°05'42.2"	Alta densidade demográfica à montante.
CH11-B	14°46'59.9"	039°05'41.4"	
CH11-C	14°47'03.5"	039°05'43.7"	

As concentrações da curva de calibração variaram de 1 a 80 $\mu\text{g g}^{-1}$. As soluções utilizadas foram preparadas por meio de padrão Perkin Elmer 29 (Al, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd e Pb) e padrões individuais de As e Hg, em concentrações 100 e 1000 $\mu\text{g g}^{-1}$. Os isótopos dos elementos analisados (Al, Cr, Mn, Fe, Ni, As, Cd, Hg, Pb) foram: ^{27}Al , ^{53}Cr , ^{55}Mn , ^{57}Fe , ^{60}Ni , ^{75}As , ^{114}Cd , ^{202}Hg , ^{208}Pb . As análises seguiram a metodologia certificada pelo Conselho Nacional de Pesquisa no Canadá (NRC) - DORM-4, do inglês *Dogfish Muscle Reference Material* (DORM-4 2018).

3.5 Análises Estatísticas

Para compreender as relações de interdependência existentes entre as variáveis ambientais analisadas no sedimento e na água foi usada a análise de componentes principais (PCA), com distância Euclidiana, utilizando o programa PCord v. 5.0. Antes de realizar as análises, os dados foram normalizados por $\log(X+1)$. Foi considerado o nível de significância $p < 0,05$.

Tabela 2 Variáveis ambientais analisadas na interface água-sedimento (Prof – profundidade, Transp – transparência, pH, Sal - salinidade, Temp - temperatura, OD - oxigênio dissolvido, Chl - clorofila, Turb – turbidez, TDS - total de sólidos dissolvidos).

Estação (unidade)	Prof. (m)	Transp. (m)	pH	Sal	Temp (°C)	OD (mg.l ⁻¹)	Chl (µg.l ⁻¹)	Turb (NTU+)	TDS (g.l ⁻¹)
CH01-C	1,1	0,8	8,7	36,7	27,8	6,53	0,90	6,40	36,0
CH02-A	1,3	1,1	8,6	37,5	27,6	6,57	1,70	6,50	36,7
CH02-C	3,2	1,2	8,7	37,6	27,6	6,60	2,10	7,10	36,9
CH03-A	6,1	1,1	8,0	25,9	27,9	3,64	10,9	28,4	26,4
CH03-B	5,3	0,9	7,9	19,8	28,1	3,98	10,7	11,0	20,7
CH03-C	2,3	1,2	7,8	19,8	27,9	3,67	8,20	7,80	20,7
CH04-A	3,0	1,4	8,6	37,6	27,4	6,57	2,96	9,10	36,6
CH04-B	2,8	1,6	8,5	37,2	27,4	6,55	3,10	9,21	36,7
CH04-C	2,0	1,3	8,6	37,1	27,8	6,63	3,03	9,08	36,4
CH05-A	2,6	1,1	7,4	20,0	28,1	1,59	9,57	21,6	20,9
CH05-B	2,9	1,0	7,5	19,9	28,6	0,00	10,1	16,7	20,7
CH05-C	2,9	1,1	7,4	19,7	28,4	2,98	9,30	24,4	20,6
CH06-A	4,8	1,2	8,7	36,8	27,5	6,52	6,00	56,6	36,1
CH06-B	3,8	1,3	8,5	36,5	27,5	6,47	6,02	55,6	35,8
CH06-C	4,3	0,8	8,6	37,0	27,3	6,53	5,95	56,2	36,1
CH07-A	4,0	0,9	8,4	28,5	28,7	5,34	18,0	21,6	28,2
CH07-B	3,1	0,8	8,1	16,2	29,3	3,45	31,6	41,7	17,3
CH07-C	3,7	1,0	8,5	31,7	28,5	1,55	45,1	61,7	31,7
CH08-A	2,2	0,9	7,9	14,1	29,4	5,67	22,7	28,0	15,2
CH08-B	2,3	0,8	8,2	33,7	28,4	5,71	28,2	30,9	32,5
CH08-C	1,9	1,0	8,1	16,0	29,3	5,63	17,1	25,0	17,1
CH09-A	5,0	0,9	7,9	17,4	29,2	5,15	15,1	20,3	18,4
CH09-B	2,6	0,8	7,6	11,4	29,1	5,40	16,3	19,8	12,6
CH09-C	3,1	0,8	7,6	14,9	29,3	4,90	23,5	15,9	16,0
CH10-A	3,8	1,3	7,5	9,30	28,7	5,08	33,3	13,8	10,4
CH10-B	1,7	0,6	7,5	3,99	29,8	5,26	32,1	13,3	4,7
CH10-C	2,5	0,5	7,8	7,52	28,9	5,02	29,8	13,2	8,5
CH11-A	3,4	1,6	7,2	6,37	28,6	3,59	10,9	2,30	7,3
CH11-B	2,1	1,2	7,5	2,75	28,4	2,85	11,2	0,90	3,4
CH11-C	1,8	1,5	7,4	1,40	29,0	4,33	10,6	3,70	1,8
Máx.	6,1	1,6	8,7	37,6	29,8	6,63	45,1	61,7	36,9
Min.	1,1	0,5	7,2	1,40	27,3	0,00	0,90	0,90	1,77
Média	3,6	1,0	8,0	22,5	28,4	4,79	14,5	21,3	22,8

3.6 Mapas de Interpolação

A fim de criar uma superfície para melhor representar a realidade empírica (Azpurua & Ramos 2010), mapas de interpolação foram executados com o software ArcMap 10.5®. Após testar diferentes métodos de interpolação, ficou definido que o Spline foi o que melhor representou

as variáveis da água e o IDW, por sua vez, os dados das variáveis do sedimento. Foi utilizado o número de pontos de amostragem de entrada igual a 12, tamanho de célula igual a 3 e expoente de poder de distância igual a 2. As coordenadas métricas estavam de acordo com o datum WGS84, UTM 24S.

4 Resultados

4.1 Variáveis Físicas e Químicas na Interface Água-sedimento

A salinidade oscilou entre 36,7‰ e 37,6‰ na foz (CH01-C, CH02-A e CH02-C) enquanto o pH ficou entre 8,63 e 8,71 (Tabela 2). Estes valores elevados de salinidade e pH estenderam-se até a estação CH08-B, que apresentou salinidade de 33,7 e pH 8,23. A partir deste ponto a salinidade e pH decresceram até chegarem a, respectivamente, 1,40 e 7,41 na estação CH11-C (Figura 2). A temperatura variou pouco, de 27,3 a 29,8°C, com média de 28,4°C (Tabela 2). As estações mais próximas ao oceano apresentaram as temperaturas mais baixas, enquanto as regiões mais internas apresentaram maiores os valores (Figura 2).

Com relação ao OD, o ERC apresentou máxima de 6,60 mg.l⁻¹ na estação CH02-C e mínima de 0,00 mg.l⁻¹ na estação CH05-B (Tabela 2), na região próxima ao estuário do Rio Itacanoeira. Todas as amostras coletadas nessa região apresentaram índices de OD bastante reduzidos (Figura 2).

Os valores de Chl foram bem variados. Com mínima de 0,90 µg.l⁻¹ na estação CH01-C e máxima de 45,1 µg.l⁻¹ na estação CH07-C e média de 14,5 µg.l⁻¹ (Tabela 2), foi possível observar claramente que os valores de clorofila são maiores a partir do transecto CH07 em direção ao interior do estuário (Figura 2).

A turbidez (em NTU+) no ERC variou de 0,90 (CH11-B) até 61,7 (CH07-C) (Tabela 2) apresentando os valores mais concentrados na região central do estuário (Figura 3). Os sólidos dissolvidos (TDS) tiveram mínima de 1,77 g.l⁻¹ (CH11-C) e máxima de 36,9 g.l⁻¹ (CH02-C) (Tabela 2) com os valores mais altos concentrados desde a região da foz até a região intermediária do estuário (Figura 2).

4.2 Granulometria, Matéria Orgânica e Carbonato

O ERC apresentou granulometria bastante variada, desde estações compostas predominantemente por areia fina e média até estações compostas somente por silte e argila. Esta variação não ocorreu de forma ordenada e contínua. Como pode ser visualizado na Tabela 3 e no diagrama ternário de análise textural (Figura 4) de acordo com a subdivisão de Flemming (2000), grande parte do estuário apresentou sedimento classificado como S (areia) e A-I (areia levemente siltosa). As estações que se distinguiram foram: CH04-B e CH04-C como B-I (areia muito siltosa); CH07-A e CH07-B como C-II (lama muito silto-arenosa);

CH03-B como D-II (lama muito siltosa e levemente arenosa); CH06-B, CH07-C, CH09-B e CH09-C como E-II (silte levemente argiloso); e CH10-C como E-III (silte argiloso). As estações CH04-A e CH11-A encontraram-se no limite da classificação como areia levemente siltosa para areia muito siltosa (CH04-A) e para areia siltosa (CH11-A).

A MO no ERC apresentou valores entre 0,61% na estação CH03-A a até 53,1% na estação CH10-C, com média de 13,9% (Tabela 3), contudo os valores da maioria das estações foram mais baixos do que os apresentados pelo perfil CH10 (Figura 3). O percentual de CO₃, por sua vez, oscilou entre 0,34% (CH08-A) a 38,0% (CH11-A) (Tabela 3) como os valores mais altos concentrados na região mais interna do estuário (Figura 3).

4.3 COT, ST e C/S

O valor médio de COT no estuário foi de 1,52%, com mínima de 0,01% na estação CH03-C e máxima de 4,67% na estação CH09-B (Tabela 3) apresentando os maiores valores concentrados na região central do estuário e os mais baixos próximos à foz (Figura 3). A média de ST foi de 0,42%, sendo a mínima de 0,01% (CH03-C) e a máxima de 1,21% (CH06-B) e assim como o COT, os valores mais altos distribuíram-se pela região intermediária do estuário (Figura 3). A razão C/S oscilou entre 0,17 na estação CH06-A e 32,0 na estação CH08-A, com média de 4,44 em todo estuário (Tabela 3 e Figura 3).

4.4 Elementos-traço Biodisponíveis

Os valores encontrados para os elementos-traço analisados estão descritos na Tabela 4 e a sua distribuição espacial na Figura 5 (Fe, Al, Mg, Cu, Mn, Zn, Ni, Cr) e Figura 6 (Pb, Se, As, Cd e Hg). Como é possível observar, os elementos estavam em maiores concentrações majoritariamente nas estações CH08-B e CH08-C, onde os valores chegaram a 29,0 µg.g⁻¹ (As), 36,2 µg.g⁻¹ (Cr), 114 µg.g⁻¹ (Cu), 497 µg.g⁻¹ (Mn), 28,7 µg.g⁻¹ (Ni), 877 µg.g⁻¹ (Pb) e 335 µg.g⁻¹ (Zn).

O Cd e Hg foram encontrados em concentrações muito reduzidas e que pouco oscilaram pelo ERC (Figura 6), sendo a mínima de 0,00 e a máxima de 0,57 µg.g⁻¹ para o Cd e de 0,00 e 0,32 µg.g⁻¹ para o Hg. Por outro lado, o Césio e Sr tiveram sua distribuição diferente no estuário com os maiores valores de Cs (2,57 µg.g⁻¹) e Sr (475 µg.g⁻¹) concentrados na região da foz (Figuras 5 e 6). Esta região também apresentou altos valores de As (27,7 µg.g⁻¹), Cr (30,6 µg.g⁻¹) e Mn (488 µg.g⁻¹) (Tabela 5 e Figuras 5 e 6).

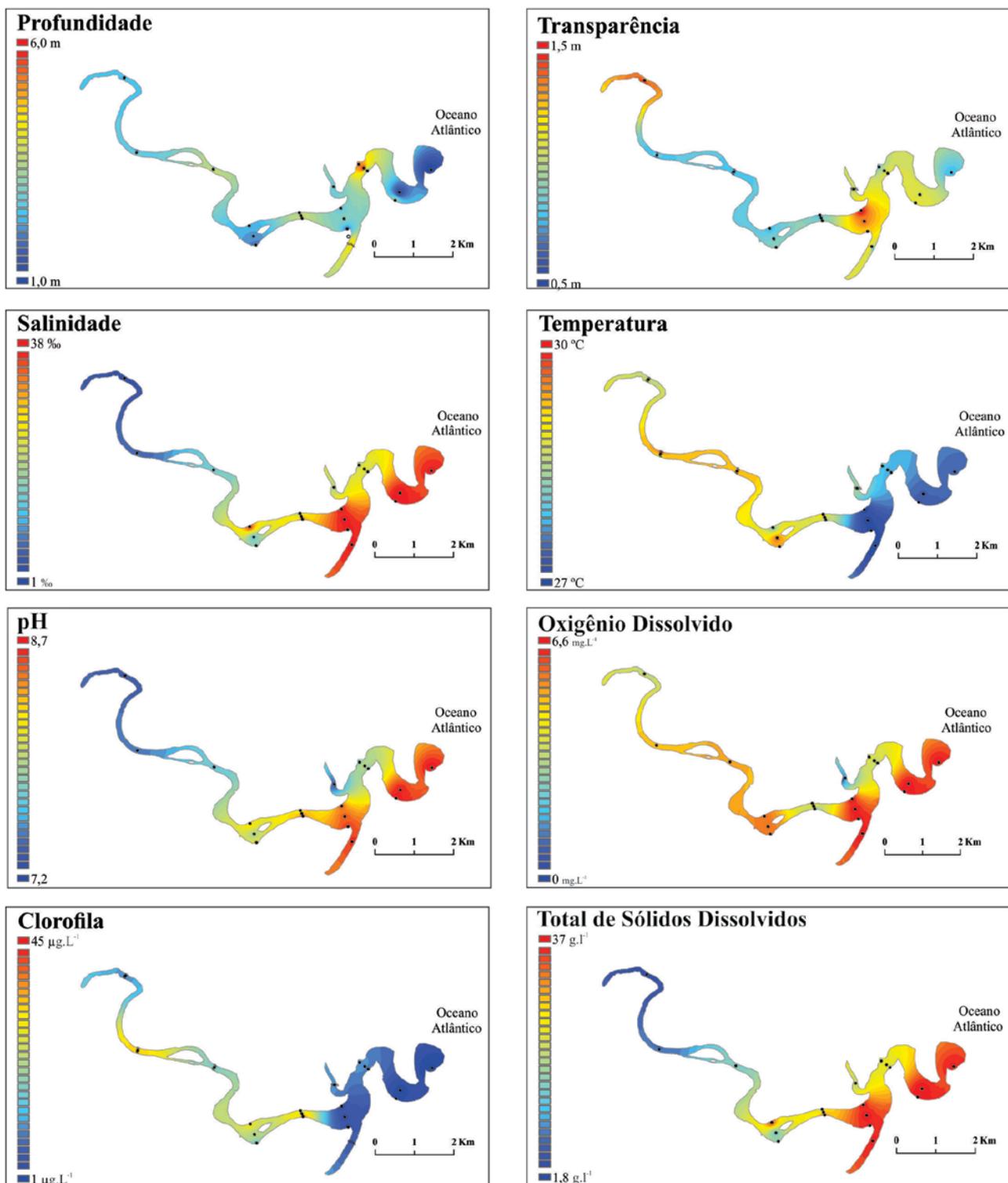


Figura 2 Mapas de distribuição das variáveis da interface água-sedimento no estuário do rio Cachoeira.

Tabela 3 Variáveis ambientais analisadas no sedimento do estuário do rio Cachoeira (MO – matéria orgânica; CO₃ – carbonato; COT – carbono orgânico total; ST- enxofre total; C/S – razão carbono/enxofre).

Amostra	OM (%)	CO ₃ (%)	COT (%)	ST (%)	C/S	areia (%)	silte (%)	argila (%)
CH01-C	7,8	7,6	0,7	0,1	5,2	78,7	20,3	1,0
CH02-A	1,9	0,7	0,0	0,1	0,3	99,6	0,3	0,2
CH02-C	1,8	3,1	0,2	0,1	2,3	97,1	2,2	0,7
CH03-A	0,6	0,8	0,0	0,1	0,6	99,6	0,2	0,2
CH03-B	12,1	8,2	1,5	0,5	2,9	21,1	66,8	12,1
CH03-C	1,1	1,1	0,0	0,1	0,2	94,5	3,5	2,0
CH04-A	14,5	1,9	1,8	0,5	3,9	75,5	22,0	2,5
CH04-B	22,6	6,6	1,7	0,7	2,5	73,0	23,4	3,5
CH04-C	24,1	3,5	3,0	0,9	3,2	57,5	37,7	4,8
CH05-A	28,3	10,7	0,9	0,3	3,3	87,2	10,3	2,5
CH05-B	9,5	2,3	0,6	0,2	2,5	94,6	3,9	1,5
CH05-C	8,6	4,7	0,5	0,2	2,6	92,9	5,2	1,9
CH06-A	3,8	2,5	0,2	0,9	0,2	96,1	3,3	0,6
CH06-B	40,6	4,5	3,9	1,2	3,2	0,0	84,5	15,5
CH06-C	1,4	0,4	0,4	0,1	4,1	99,8	0,0	0,2
CH07-A	3,0	0,6	0,2	0,1	2,2	47,8	45,3	6,9
CH07-B	16,1	10,8	1,8	0,8	2,2	47,8	45,3	6,9
CH07-C	23,7	4,5	3,0	1,0	2,9	0,1	84,1	15,8
CH08-A	2,0	0,3	2,9	0,1	32,0	92,2	6,9	0,9
CH08-B	1,6	0,9	0,4	0,1	3,7	92,2	6,9	0,9
CH08-C	2,2	0,9	0,6	0,2	4,0	98,9	0,7	0,4
CH09-A	16,1	3,0	2,5	0,6	4,4	83,2	12,8	4,0
CH09-B	37,4	10,9	4,7	1,0	4,7	0,0	84,3	15,7
CH09-C	41,3	5,9	4,6	1,0	4,6	0,0	80,2	19,8
CH10-A	2,5	0,6	1,1	0,1	9,9	90,5	8,0	1,5
CH10-B	4,2	1,1	0,7	0,1	7,6	95,0	4,2	0,7
CH10-C	53,1	18,8	3,3	0,8	4,4	0,0	73,6	26,4
CH11-A	22,0	38,0	3,4	0,6	5,5	75,7	14,5	9,8
CH11-B	9,9	18,6	1,0	0,2	5,6	95,0	3,8	1,2
CH11-C	2,8	0,7	0,1	0,1	2,8	98,2	1,4	0,4

4.5 Análises Estatísticas

O resultado da PCA baseada nos parâmetros abióticos medidos pode ser observado na Figura 7. O Eixo 1 apresentou coeficiente de variância de 88%, e no Eixo 2 o valor foi de 3% (Figura 7A). Dessa forma, o Eixo 1 foi considerado o mais adequado para explicar a correlação entre as variáveis ambientais e as estações de coleta refletindo no reconhecimento de quatro setores ao longo do estuário (Figura 7B).

No setor I, as estações estão relacionadas aos maiores valores de COT, MO, CO₃, Chl, razão C/S,

temperatura, ST e elementos-traço (com exceção de As e Cs). Este setor é composto pelas estações lamosas (com exceção da estação CH07-A) e por estações com sedimento predominantemente arenoso. Neste setor, percebe-se que os elementos-traço são relacionados positivamente com COT e MO e ainda, os elementos Pb, Cu e Hg são fortemente associados com CO₃ e razão C/S (Figura 7A).

O setor II foi composto pelas estações CH10-B e CH11-C, que apresentaram associação positiva com sedimento arenoso e forte relação negativa com as variáveis pH, salinidade e TDS (Figura 7A).

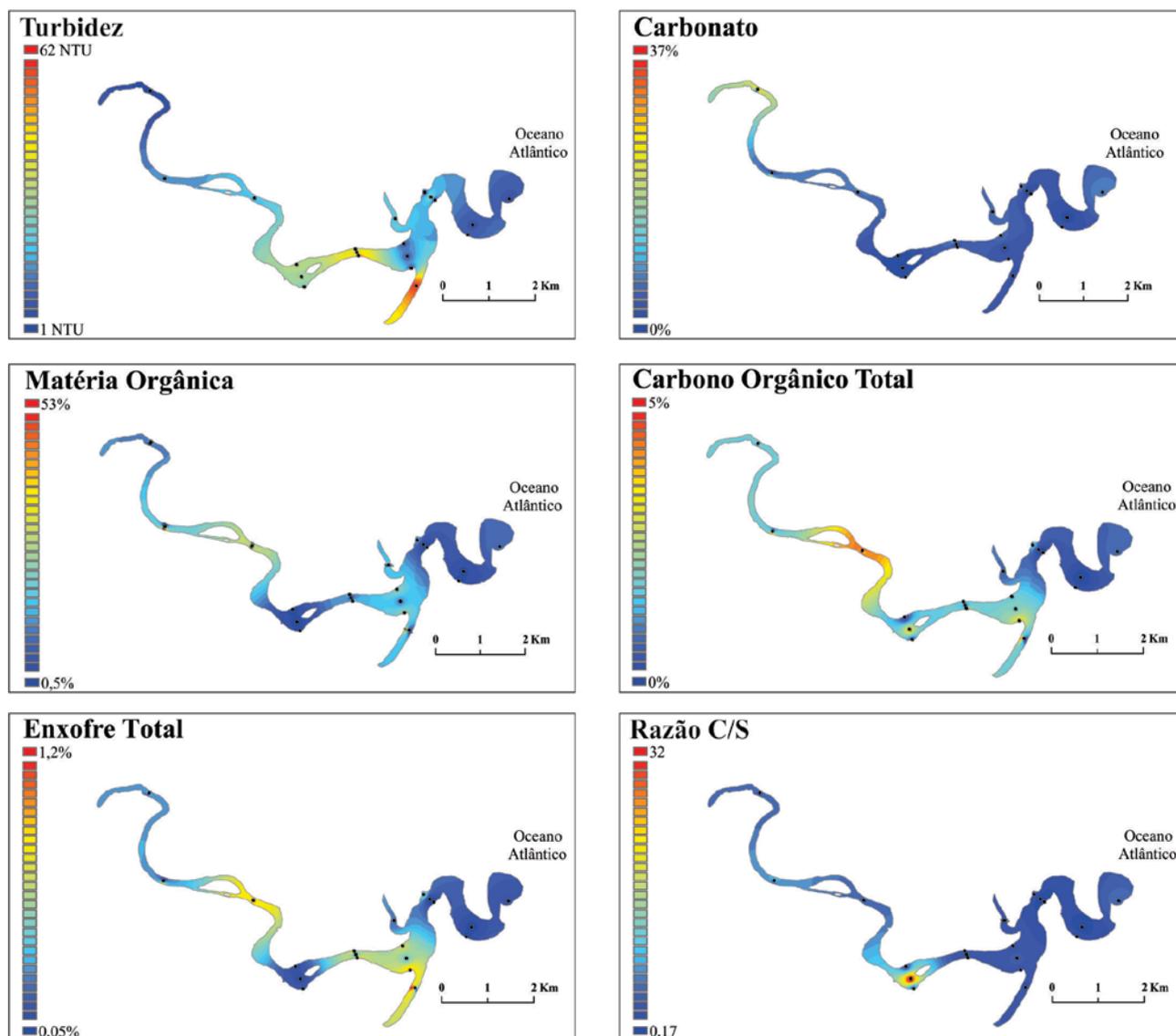


Figura 3 Mapas de interpolação com os de turbidez da coluna d'água e das variáveis medidas no sedimento. Carbonato, carbono orgânico total, enxofre total e razão C/S.

O setor III, em oposição ao II, abrangeu as estações CH01-C, CH02-A, CH04-(A, B, C), CH06-C e CH07-A que apresentaram correlação positiva com as variáveis medidas na água (pH, Sal, TDS, OD, Turb) e com os elementos As e Cs. Este setor também se relacionou positivamente com o sedimento arenoso (Figura 7A).

O setor IV, por fim, encontra-se no sentido oposto ao setor I, sendo composto pelas estações CH02-C, CH03-A, CH03-C e CH06-A que estão relacionadas positivamente ao sedimento arenoso e negativamente aos elementos-traço, COT, MO, CO₃, C/E, Chl (Figura 7A).

5 Discussão

5.1 Variáveis Físicas e Químicas na Interface Água-sedimento

As variações de salinidade, pH, temperatura no ERC são semelhantes as registradas nos estudos de Souza et al. (2009) e Silva, Souza & Abreu (2015). Os padrões de distribuição espacial dessas variáveis são bastante coincidentes (Figura 2). A região dos transectos CH07 e CH08 (mais precisamente as estações CH07-B, CH08-A e

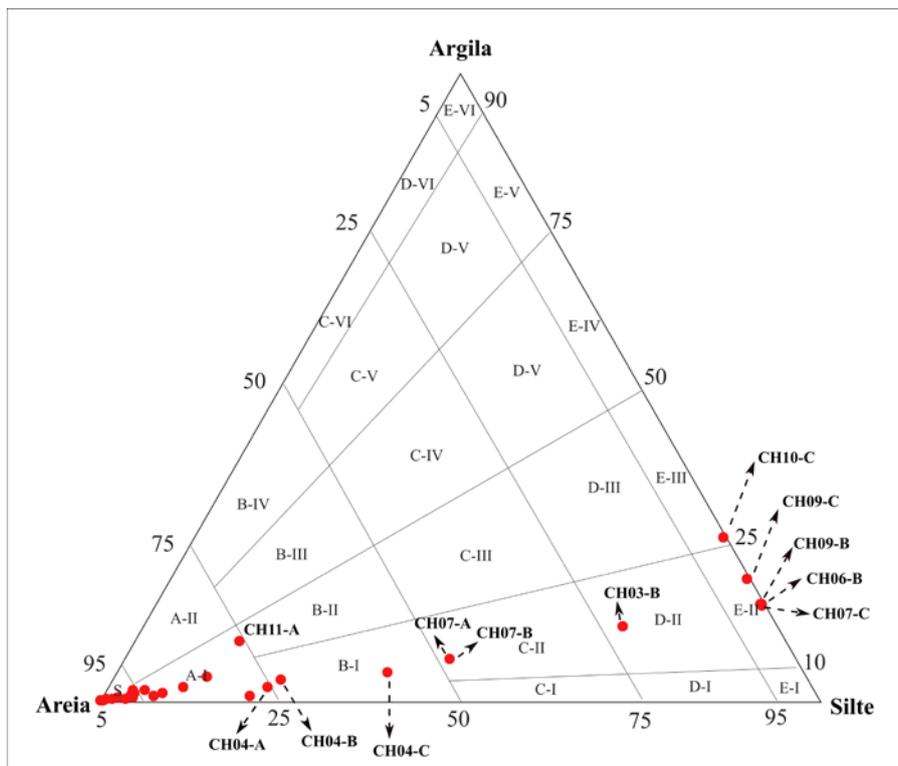


Figura 4 Diagrama ternário de análise textural seguindo subdivisão proposta por Flemming (2000), onde: S = areia, A-I = areia levemente siltosa, A-II = areia levemente argilosa, B-I = areia muito siltosa, B-II = areia siltosa, B-III = areia argilosa, B-IV = areia argilosa, C-I = lama extremamente silto-arenosa, C-II = lama muito silto-arenosa, C-III = lama silto-arenosa, C-IV = lama argilo-arenosa, C-V = lama muito argilo-arenosa, C-VI = lama extremamente argilo-arenosa, D-I = lama extremamente siltosa e levemente arenosa, D-II = lama muito siltosa e levemente arenosa, D-III = lama siltosa e levemente arenosa, D-IV = lama argilosa e levemente arenosa, D-V = lama muito argilosa e levemente arenosa, D-VI = lama extremamente argilosa e levemente arenosa, E-I = silte, E-II = silte levemente argiloso, E-III = silte argiloso, E-IV = argila siltosa, E-V = argila levemente siltosa, E-VI = argila.

CH08-C) demarcam o início da região de maior influência fluvial, observado pela mudança das condições ambientais, com redução dos valores de salinidade e pH e aumento da temperatura e Chl (Silva, Souza & Abreu 2015; Souza et al. 2009).

Os valores de pH do ERC encontram-se dentro da faixa ideal regulamentada para águas salobras pela Resolução CONAMA nº 357/2005, entre 6,5 e 8,5. Ao comparar com outros estuários do Nordeste do Brasil como o estuário do rio Maracáipe (Coimbra et al. 2015), o estuário do rio Timbó (Noronha, Silva & Duarte 2011) e o estuário do Parque dos Manguezais (Silva, 2010), os valores de pH registrados no ERC encontram-se dentro das médias para ambientes estuarinos.

O ERC apresentou condições de hipóxia em todo seu curso, estando predominantemente abaixo de 6 mg.l⁻¹ de acordo com a Res. CONAMA nº 357/2005 para qualidade de corpos aquáticos salobros. Estas condições também foram encontradas em estudos anteriores na região (Silva,

Souza & Abreu 2015; Souza et al. 2009). O estudo de Fidelman (2005) associou eventos de anoxia no ERC à alta emissão de esgoto sem tratamento da cidade de Itabuna e ao supercrescimento de macrófitas aquáticas (principalmente *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratioides*) que ao entrarem em decomposição ocasionam déficit de OD.

Silva, Souza & Abreu (2015) realizaram um estudo de monitoramento no ERC e reconheceram dois setores com base no enriquecimento orgânico: (1) o estuário superior, classificado como eutrófico/hipertrofico devido à alta concentração de nutrientes inorgânicos e Chl-*a*, e estratificação da coluna d'água que apresenta mais oxigênio na camada superficial do que no fundo; (2) o estuário inferior classificado como mesotrofico por apresentar menor concentração de nutrientes e Chl-*a* e coluna d'água bem misturada. No presente estudo com uma malha amostral mais densa foi possível reconhecer os setores descritos por Silva, Souza & Abreu (2015), assim como outros subambientes ao longo do ERC.

Tabela 4 Elementos-traço biodisponíveis analisados no sedimento do estuário do rio Cachoeira. Valores estão apresentados em $\mu\text{g.g}^{-1}$.

Estação	Al	As	Cd	Cr	Cs	Cu	Fe	Hg	Mg	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
CH01-C	12545	27,7	0,05	30,6	2,57	12,6	22073	0,17	8735	488	17,6	24,2	475	60,1
CH02-A	12655	19,9	0,06	33,5	2,56	29,1	21542	0,16	6027	223	15,7	40,9	276	79,6
CH02-C	837	5,81	0,02	2,58	0,21	1,30	2186	0,04	852	25,2	1,25	6,90	16,8	8,64
CH03-A	381	1,02	0,01	1,30	0,02	0,18	1022	0,01	352	31,0	0,48	0,62	2,66	3,95
CH03-B	15434	14,3	0,08	37,2	1,25	22,9	25444	0,22	7160	338	18,8	49,0	227	92,3
CH03-C	1078	1,85	0,00	3,18	0,03	0,36	2319	0,01	637	21,7	1,06	0,71	5,03	6,78
CH04-A	11879	17,2	0,08	33,8	2,14	17,4	21757	0,12	6473	216	16,0	31,5	250	341
CH04-B	13092	17,0	0,04	35,6	1,98	18,6	22831	0,12	7261	229	15,9	26,3	230	170
CH04-C	11797	18,8	0,06	31,7	1,88	16,4	25705	0,11	6288	220	14,2	43,0	113	390
CH05-A	12874	15,5	0,12	32,7	1,89	22,2	24087	0,10	6232	239	16,8	44,6	229	84,2
CH05-B	11153	16,0	0,38	35,9	1,77	26,6	24448	0,15	6852	189	15,2	94,8	81,6	223
CH05-C	12632	24,4	0,14	34,4	2,01	22,6	27739	0,11	7656	313	16,2	34,5	181	106
CH06-A	578	1,60	0,01	1,86	0,05	0,70	2074	0,00	955	26,2	3,56	0,78	75,8	4,95
CH06-B	13299	19,3	0,08	39,8	2,06	25,6	25950	0,15	6450	200	15,3	42,3	89,2	206
CH06-C	14521	21,0	0,06	43,0	1,60	26,8	27636	0,17	7047	229	16,5	42,9	152	101
CH07-A	11767	15,9	0,08	33,3	1,73	19,9	24942	0,13	8084	222	14,9	91,6	164	83,2
CH07-B	12764	16,9	0,12	41,3	1,73	24,2	25311	0,16	7242	339	19,7	40,4	388	101
CH07-C	13478	17,6	0,13	39,2	1,98	23,2	26222	0,16	6231	332	16,2	66,1	115	92,8
CH08-A	11515	15,1	0,19	34,3	1,81	27,1	27069	0,13	8284	258	15,4	207	90,5	228
CH08-B	10336	23,2	0,22	32,8	1,12	94,7	30026	0,21	18672	497	28,7	856	144	336
CH08-C	11453	29,0	0,15	36,2	1,56	114	34319	0,20	8832	206	16,6	877	133	140
CH09-A	10166	6,89	0,18	29,3	1,17	21,2	17244	0,13	11479	144	11,4	60,4	81,7	81,9
CH09-B	13801	9,80	0,14	37,2	1,29	29,5	26746	0,13	7942	255	15,3	93,5	77,8	107
CH09-C	12011	10,1	0,22	40,1	1,20	28,9	24252	0,15	9851	254	16,4	78,2	123	146
CH10-A	10499	7,08	0,36	32,8	0,96	31,4	23136	0,23	12804	211	16,2	67,4	90,6	148
CH10-B	7233	2,09	0,08	22,9	0,37	25,3	16923	0,17	3207	175	10,0	169	34,2	102
CH10-C	11513	6,40	0,14	29,7	0,77	46,6	31718	0,15	8267	298	18,7	75,2	281	286
CH11-A	12544	2,96	0,57	38,6	0,42	47,7	31255	0,32	5506	483	37,6	39,6	187	161
CH11-B	10974	2,84	0,22	22,7	0,23	70,6	33408	0,21	4212	254	22,3	74,5	211	129
CH11-C	7282	1,16	0,24	22,4	0,19	41,0	14838	0,17	6693	161	15,2	304	53,3	170
Máx.	15434	29,0	0,57	43,0	2,57	114	34319	0,32	18672	497	37,6	877	475	390
Min.	381	1,02	0,00	1,30	0,02	0,18	1022	0,00	352	21,7	0,48	0,62	2,66	3,95
Média	10403	12,9	0,14	29,7	1,28	29,6	22141	0,14	6876	236	15,3	119	153	140
Desv. Pad.	3022	7,25	0,09	8,74	0,67	15,9	6629	0,05	2412	85,4	4,39	121	84,5	75,3

Os valores de temperatura mais elevados e a redução de pH, salinidade, OD e TDS, observados nas estações do transecto CH05 demonstram a influência da descarga do rio Itacanoeira. Este rio percorre toda a cidade Ilhéus captando e transportando todo tipo de efluente urbano via rede de esgoto ou através do escoamento superficial. O transecto CH03 também apresentou os

menores valores de pH, salinidade, OD e TDS que indicam a proximidade com os descarga de efluentes urbanos da cidade de Ilhéus (Souza et al. 2009). As condições ambientais registradas neste estudo são diferentes das apresentadas por Silva, Souza & Abreu (2015) que relataram uma boa circulação e diluição dos efluentes neste trecho do estuário.

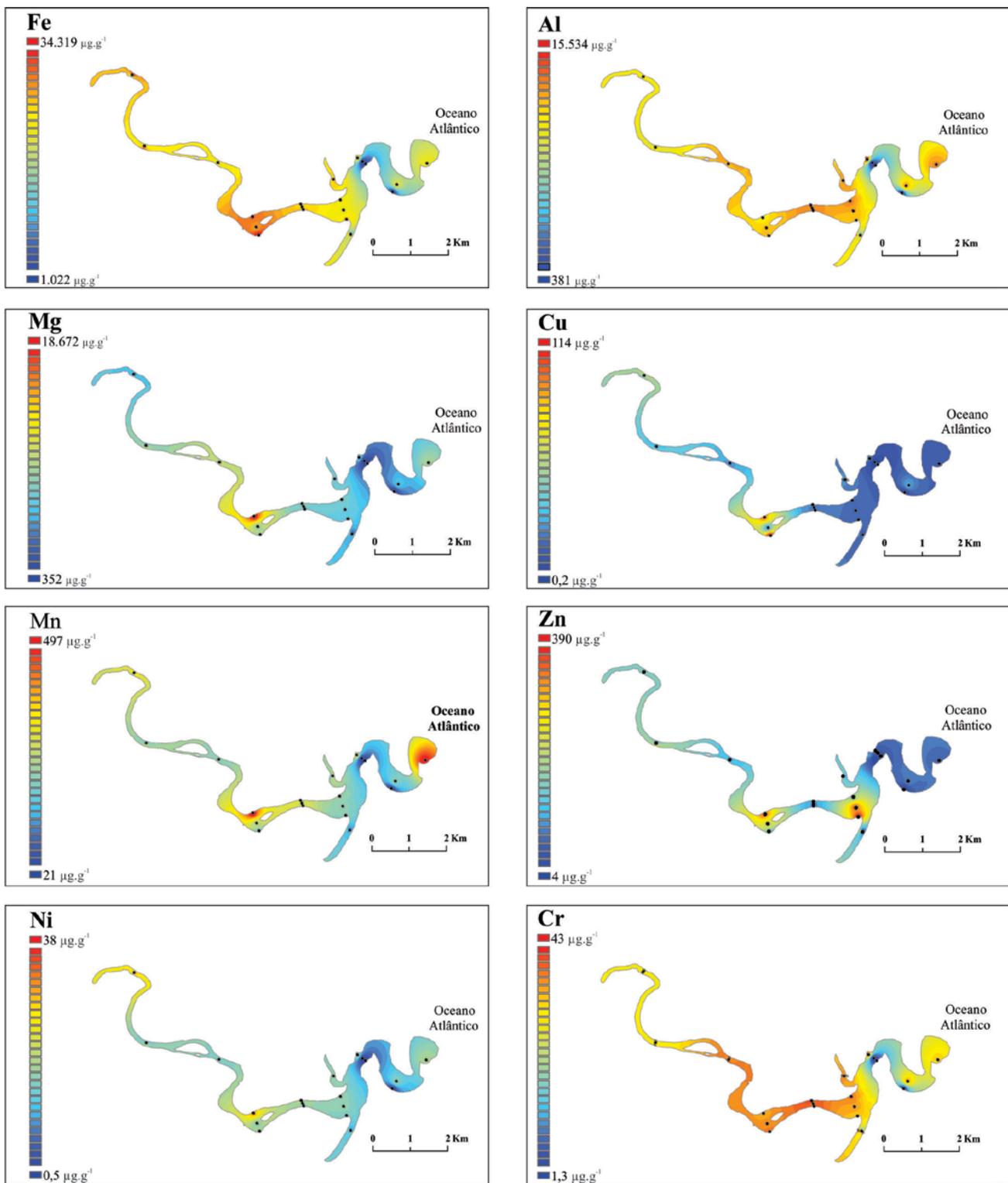


Figura 5 Mapas de distribuição de elementos-traço biodisponíveis no estuário do rio Cachoeira.

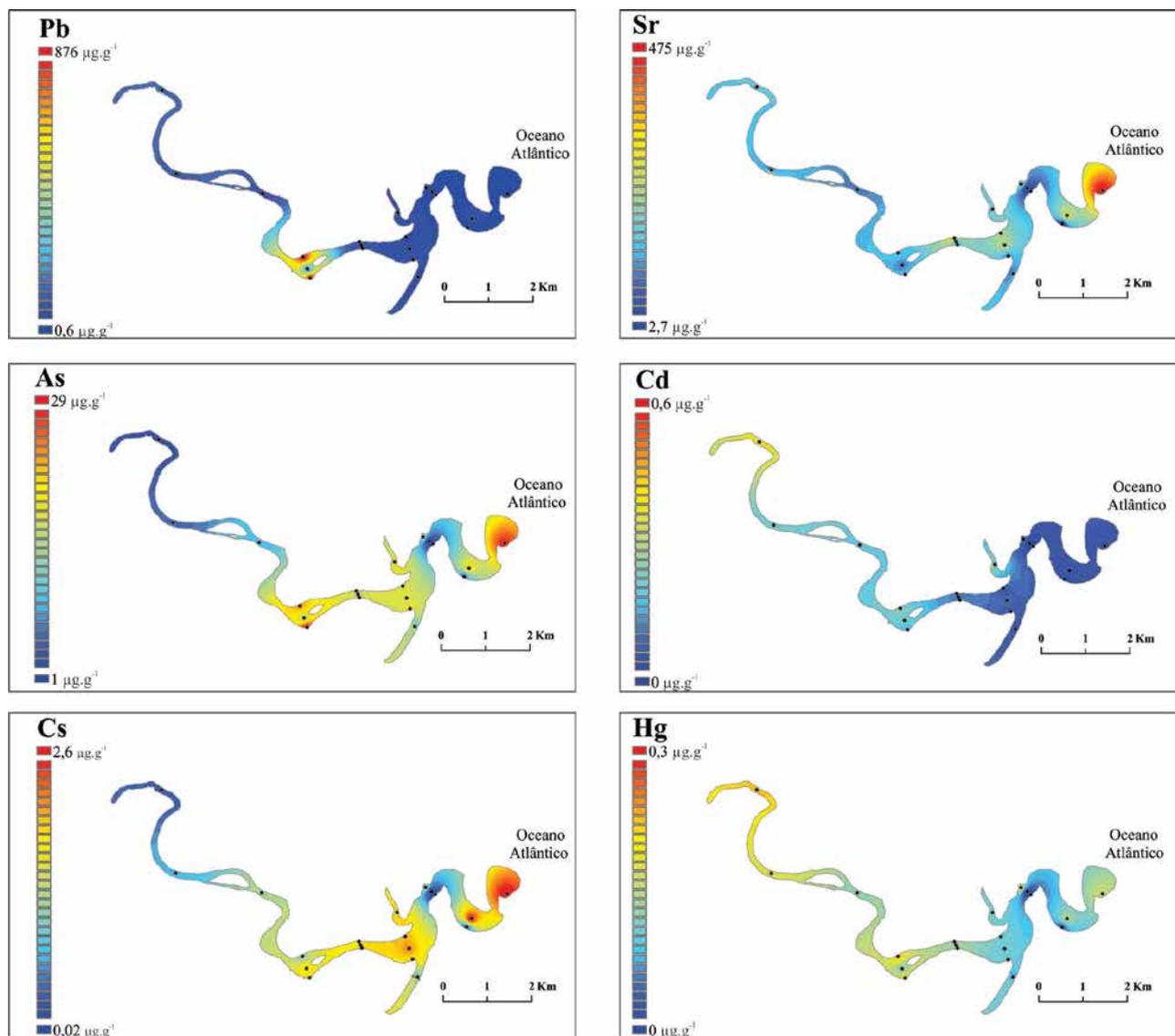


Figura 6 Mapas de distribuição de elementos-traço biodisponíveis no estuário do rio Cachoeira.

5.2 Granulometria e Matéria Orgânica

Embora mais de 2/3 das estações amostrais no ERC apresentem sedimento arenoso (majoritariamente areia fina), há uma região lamosa (em suas variações arenosas, siltosas e argilosas) (Figura 3) que se concentra no setor mais interno como também reconhecido por Silva, Souza & Abreu (2015). No presente estudo, a região de transição entre estas duas zonas está localizada aproximadamente entre os transectos CH07 e CH08, onde ainda é possível observar a influência marinha por apresentar o pH básico e valores mais elevados de salinidade.

Ao aplicar a classificação granulométrica de Flemming (2000) foi possível identificar a hidrodinâmica

do estuário. A estação CH03-B se encontra numa região que recebe dutos de esgoto provenientes do centro de Ilhéus (Souza et al. 2009), que não só alteram as condições da coluna d'água, mas também no sedimento, tornando-o muito lamoso quando comparados as demais estações localizadas nos transectos CH01, CH02 e CH03 que são classificadas como areia e areia levemente siltosa (Figura 3). Embora as estações CH04-B e CH04-C estejam ainda na região de influência da água marinha (estuário inferior), acredita-se que recebam o aporte de sedimentos mais finos do continente carregados pelos rios Santana e Itacanoeira. Assim, maiores porcentagens de silte grosso e médio ficam retidas e “deslocam” essas estações para a classificação como areia muito siltosa. As estações CH07-A e CH07-B,

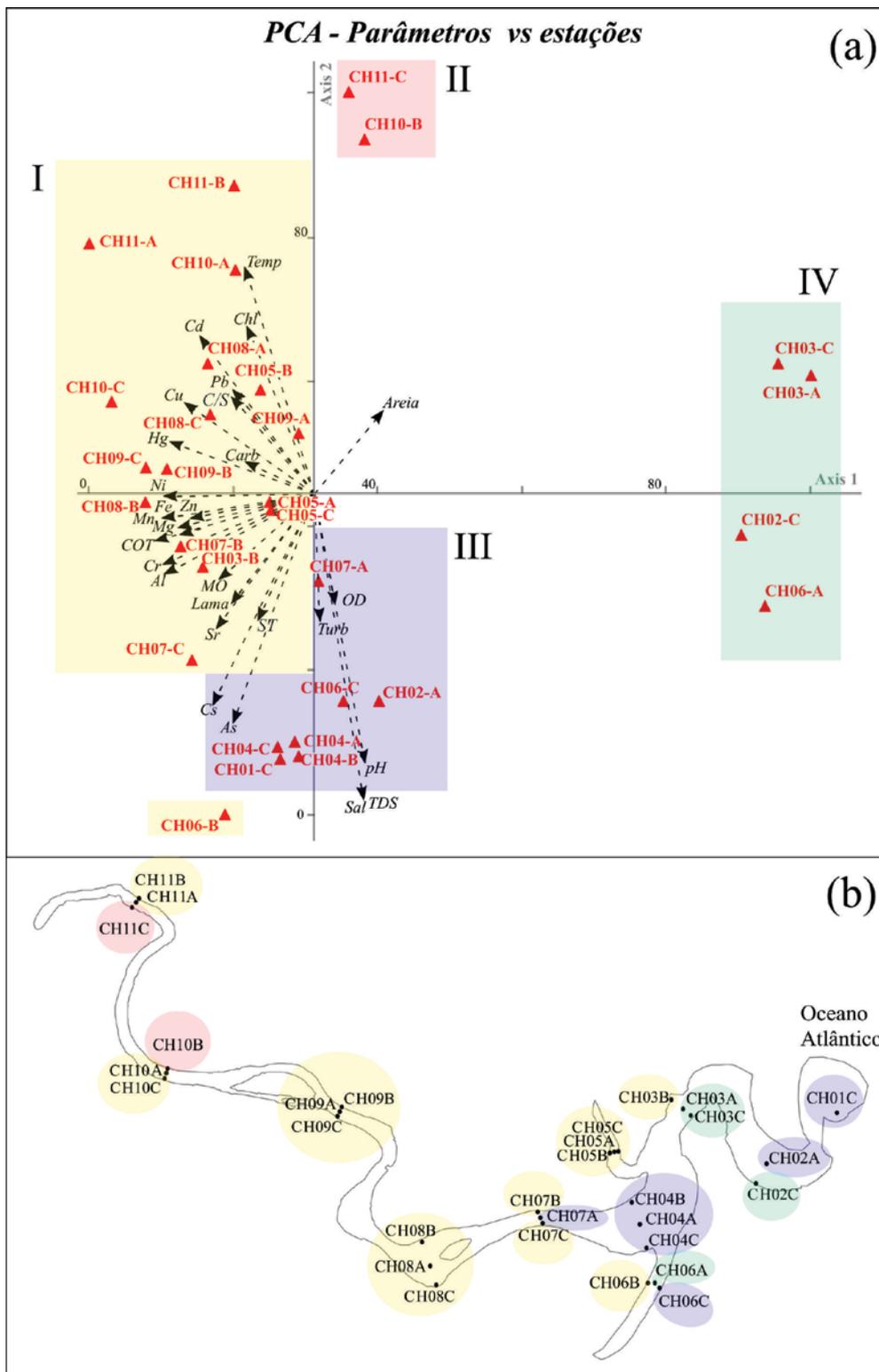


Figura 7 (a) PCA das estações amostrais e sua correlação com os parâmetros abióticos aferidos (pH, Sal – salinidade, Temp – temperatura (°C), OD – oxigênio dissolvido (mg.l⁻¹), Chl – clorofila (ug.l⁻¹), Transp – transparência (m), TDS – sólidos totais dissolvidos (g.l⁻¹), Turb – turbidez (NTU+), MO – matéria orgânica (%), COT – carbono orgânico total (%), ST – enxofre total (%), C/S – razão carbono/enxofre, elementos-traço. (b) Representação em mapa dos setores definidos no PCA.

por sua vez, acumulam menor percentual de areia, com leve aumento do percentual de silte e argila, demonstrando ser uma das regiões de menor energia no estuário. Condições de menor hidrodinâmica também são encontradas na estação CH07-C, classificada em silte levemente argiloso (0,1% de areia e 84,1% silte). A repentina mudança para sedimento arenoso em todo transecto CH08 e na estação CH09-A, somado as variáveis da coluna d'água indicam que a partir desta região predomina o domínio fluvial. Entretanto, em CH08-B (margem direita) a fração arenosa é composta por areia fina, enquanto em CH08-A e CH08-C é por areia média, sugerindo que nesta região a entrada de água fluvial ocorre principalmente pela calha e pela margem esquerda. Em contrapartida, no transecto CH09 a região de maior energia se limita apenas a calha, sendo o sedimento das margens composto por todas as frações de silte e por argila, vindo a ser classificados como silte levemente argiloso de acordo com Flemming (2000). A predominância de areia média e fina em CH10 e CH11 indica a maior influência fluvial nesta região, com exceção da estação CH10-C, onde acredita-se que o sedimento mais fino é provavelmente proveniente de despejos pontuais da ETE.

Os valores de MO variaram bastante ao longo do estuário apresentando alterações significativas dentro do mesmo transecto. Este fato pode estar associado a mudanças na energia da região entre margem-calha-margem que são evidenciadas pelos resultados da granulometria, e/ou pelo despejo pontual de resíduos antrópicos (Fidelman 2005; Silva, Souza & Abreu 2015; Souza et al. 2005, 2009;). Como resultado da presença de vegetação de manguezal em quase todo o entorno do estuário, era esperado a grande concentração de MO nas estações amostradas (Oliveira, Rizzo & Couto 2013). Entretanto, os valores bem expressivos, acima de 40%, apontam para regiões que recebem diretamente grandes volumes de esgoto sem tratamento adequado, sejam elas por fontes difusas como na estação CH06-B, ou pontuais como na região de influência da ETE (CH09-C e CH10-C) que é caracterizada por fornecer apenas tratamento primário dos efluentes.

Em Souza et al. (2005) também foram encontradas elevadas concentrações de MO na área do estuário abaixo da ETE, que promove florações de dinoflagelados e diatomáceas. Florações destes grupos do fitoplâncton são comumente associados a uma alta concentração de nutrientes. O estudo de Souza et al. (2009) observou concentrações de nitrogênio e fósforo total mais elevadas do que as obtidas em estuários temperados eutrofizados na Dinamarca (Conley et al. 2000) e na Baía de Chesapeake (Dauer, Ranasinghe & Weisberg 2000). Fidelman (2005) identificou que altos valores de MO e nutrientes ERC estão associados ao lançamento de esgoto na cidade de Itabuna e aos processos de decomposição de macrófitas aquáticas (*Eicchhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*) que

são transportadas ao longo do rio em elevadas quantidades após períodos chuvosos.

Os valores de MO registrados no ERC também foram superiores aos de outros sistemas estuarinos associados a manguezal ao longo da costa do Brasil, como o estuário do Potengi, no Rio Grande do Norte (0,5 – 3,6%), estuário do rio São João na Bahia (1,1 – 1,7%), no delta do rio Paraíba do Sul (0,2 – 7,5%) e no estuário do rio Surui (0,3 – 14,3%) ambos no Rio de Janeiro, e no estuário do rio Itacorubi em Santa Catarina (3,6 – 4,5%) (Laut et al. 2016a).

Os valores de COT encontrados no ERC foram similares e/ou superiores ao de outras regiões estuarinas como: estuário do Arade, Portugal (0,62 – 1,81%) em Laut et al. (2014); no delta do Paraíba do Sul, Rio de Janeiro (0,04 – 4,7%) em Silva et al. (2011) e (0,71 - 1,69%) em Almeida & Souza (2008); na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro (0,02 - 6,02%) em Eichler et al. (2003); no remanso Walton, Inglaterra (0,07% - 1,97%) em Aston & Hewitt (1977) e no Golfo de Izmir, Mar Egeu (0,40% - 3,12%) em Bergin et al. (2006). A maior parte destas regiões são altamente industrializadas, com recebimento de conteúdos orgânicos provenientes de portos comerciais, esgoto doméstico e escoamento superficial de campos agrícolas, fato esse que evidencia o cenário de degradação ambiental do ERC. De acordo com Mendonça-Filho et al. (2003), valores de COT superiores a 2,5% estão relacionados a ambientes disóxicos/anóxicos. De fato, os maiores valores de COT registrados no ERC estão associados às regiões de sedimento lamoso e próximo a fontes poluidoras como a estação CH06-B localizada no rio Santana, e as estações CH09-B e CH09-C localizadas nas proximidades da ETE. Estudos realizados com a mesma metodologia em ecossistemas transicionais altamente eutrofizados do estado do Rio de Janeiro apresentam valores de COT similares aos encontrados no ERC como: laguna de Itaipu com valor máximo de 6,0% (Laut et al. 2016b); Sistema Lagunar de Saquarema com valor máximo de 21,5% (Dias et al. 2017); Lagoa Vermelha com valor máximo de 7,1% (Laut et al. 2017); Sistema Lagunar Maricá-Guarapina com valor máximo de 4,3% (Laut et al. 2019); e laguna de Araruama com valor máximo de 4,6% (Laut et al. 2020).

Os valores de ST foram menos expressivos no ERC, sendo similares aos encontrados em outros ecossistemas costeiros impactados como: delta do rio Paraíba do Sul com valor máximo de 1,2% (Aragon et al. 1996); laguna de Itaipu com valor máximo de 1,73% (Laut et al. 2016b); e Sistema Lagunar de Saquarema com valor máximo de 5,0% (Dias et al. 2017). A razão C/S indica as condições de oxigenação do ambiente sedimentar, onde: C/S > 5 indica água de fundo oxigenada e sedimento majoritariamente óxido; C/S entre 5 – 1,5 indica depósitos sedimentares que passam por períodos de anoxia e C/S < 1,5 indica água de fundo e sedimento anóxicos (Duleba et al. 2018). Utilizando

esta classificação no ERC seis estações seriam classificadas como óxidas (CH01-C, CH08-A, CH10-A, CH10-B, CH11-A e CH11-B), quatro como anóxicas (CH02-A, CH03-A, CH03-C e CH06-A), e as demais passando por períodos de anoxia.

5.3 Elementos-traço Biodisponíveis

As concentrações dos elementos analisados em suas frações biodisponíveis no presente trabalho foram comparadas com a de demais estudos ao redor do globo e com os limites sugeridos pela agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (USEPA 2002), como pode ser visto na Tabela 5.

Diversas atividades que ocorrem ao redor da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, como o Polo Industrial na cidade de Itabuna, os campos agrícolas e o lançamento de esgotos urbanos, já foram previamente sinalizadas como fontes de elementos-traço, principalmente as relacionadas ao uso de tintas, corantes, adubos e fertilizantes e as que trabalham com resíduos de madeira (Manzini, Sá & Plicas 2010).

Os estudos de Santos (2005) e Lucio (2010) apontam altas concentrações de elementos-traço na região mais interna no estuário, sobretudo na confluência dos rios Salgado e Colônia. Isto provavelmente se deve a atuação do intemperismo químico sobre a formação Rio Salgado que apresenta altas concentrações de diversos íons, tais como Cl, Mg, Na, K e Ca (Santos 2005). De acordo com Lucio (2010), os valores no rio Cachoeira, mesmo recebendo os efluentes da cidade de Itabuna são menores no baixo curso devido ao processo de diluição, em virtude da presença de outros rios oriundos de sub-bacias que são mais preservadas. Contudo, ao longo do estuário muitos elementos apresentaram concentrações mais altas do que as recomendadas pela USEPA (2002). Estes resultados possivelmente foram influenciados pelo período de baixa pluviosidade na qual foi realizada a amostragem, o que intensifica as concentrações de poluentes na zona estuarina (Lucio 2010).

5.3.1 Al, Fe, Mg e Zn

Os metais Al, Fe, Mg e Zn são encontrados naturalmente em maiores concentrações do que os demais elementos analisados, sendo essenciais para algumas funções biológicas de muitos organismos. Entretanto, estes em concentrações muito elevadas podem se tornar tóxicos (Templeton et al. 2000). Os valores de Zn biodisponível excederam o ER-L e chegaram próximo ao limite tolerável do ER-M (Tabela 5). Em estudos anteriores realizados em sedimentos estuarinos, as altas concentrações de Fe

e Zn na região do estuário inferior foram associadas aos períodos chuvosos a alta concentração de MO (Coimbra et al. 2015; Silva 2010). Além disso, Coimbra et al. (2015) também sugeriram a relação entre os elevados valores de Zn e a maior quantidade embarcações de turismo no estuário do rio Maracáipe no período do verão. Os altos valores de Zn no ERC podem estar associados às principais fontes antropogênicas do elemento, que incluem fertilizantes (e.g. sulfato de zinco), pesticidas (e.g. sais de Zn) e resíduos orgânicos urbanos (Linnik & Zubenko 2000; Chiba, Passerini & Tundisi 2011). Outro fator que deve ser considerado são as queimadas na área agrícola que produzem cinzas com altas concentrações de Zn, que podem chegar ao corpo d'água através do vento e do escoamento superficial (Zioli, Barreto & Jardim 1995).

5.3.2 Cu e Pb

As concentrações de Cu e Pb no ERC ultrapassaram o ER-L, sendo suas concentrações mais elevadas no estuário superior, onde a influência fluvial é dominante (estuário superior) e os valores de Pb excederam o ER-M de maneira exorbitante. Em geral, os valores encontrados no ERC foram iguais ou superiores aos dos demais estudos que avaliaram a biodisponibilidade desses metais em ecossistemas costeiros (Tabela 5). As concentrações mais expressivas de ambos os metais foram em CH08-B e CH08-C. Estes metais podem fazer parte de componentes ativos de diversos defensivos agrícolas tais como arsenatos de Cu e Pb e compostos metalo-orgânicos (Tiller 1989). Pelo processo de percolação ou de escoamento superficial, os metais retidos no solo dos diversos campos agrícolas principalmente do cultivo de cacau podem ser a fonte principal de Cu e Pb para o estuário. Outra possível fonte contribuinte para os altos valores de Pb no estuário (Troeh & Thompson 2007) é a rodovia BR-415 que margeia o ERC desde a cidade de Itabuna. O acúmulo de Cu é normalmente associado ao aporte de esgoto e resíduos sólidos, assim como, ao escoamento superficial de áreas agrícolas (Martins et al. 2015; Zaaboub et al. 2015) que são as mesmas condições observadas no ERC. Coimbra et al. (2015) associaram as concentrações de Cu ao alto percentual de MO no sedimento que adsorve este componente principalmente após períodos chuvosos mesmo em regiões do estuário onde as condições marinhas são prevaletentes como no transecto CH08. A análise da sequência sedimentar do estuário do rio Pearl (sul da China) demonstrou que em intervalos correspondentes ao aumento de pluviosidade, com aumento significativo da taxa de sedimentação, também houve um grande enriquecimento de elementos-traço tais como Cu, Fe, Ni, Pb e Zn (Ip et al. 2004).

5.3.3 Mn e Ni

No estudo realizado por Coringa et al. (2016) no rio Bento Gomes no estado do Mato Grosso as elevadas concentrações de Mn foram correlacionadas ao pH e ao teor de Fe no sedimento. Este cenário parece similar ao encontrado no ERC onde as concentrações elevadas de Mn e Ni associam-se as de maior concentração de Fe. A biodisponibilidade destes elementos no ERC pode estar associada à precipitação de óxidos hidratados de Fe resultantes das reações na interface água-sedimento (Coringa et al. 2016). Além disso, no ERC o Mn apresentou suas maiores concentrações (acima de 400 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) nas estações predominantemente arenosas (CH01-C, CH08-B e CH11-A) que indica que o processo de oxidação é responsável pela biodisponibilização.

Brayner & Matvienko (2003) observaram maior solubilidade de Mn e Fe em sua forma bivalente, podendo ser liberados do sedimento para coluna d'água. Segundo Elwakeel, El-Sayed & El-Nassr (2014), a remoção de Mn e Fe da água, em suas formas bivalentes, ocorre com maior efetividade na faixa de pH entre 6,3 a 8,3, condição que está de acordo com as observadas no ERC.

Os valores de Ni biodisponíveis no ERC excederam os ER-L em apenas duas estações e podem estar associados à lixiviação de regiões da margem urbanizadas como identificado por Coimbra et al. (2015) na região do Pantanal.

5.3.4 Sr

Duleba et al. (2018) obteve maiores concentrações de Sr nas regiões marinhas do canal de São Sebastião, enriquecidas em conteúdos orgânicos (3,3% de COT) e com sedimento predominantemente arenoso, associando os efluentes domésticos às principais fontes de carbono orgânico na região. No presente estudo, as maiores concentrações de Sr foram na foz, onde o sedimento é predominantemente arenoso com valores de MO de 7,75%. Diferentemente do encontrado por Duleba et al. (2018), o COT na região onde os valores de Sr foram elevados foi inferior a 1% sugerindo que este elemento está associado no ERC a matéria orgânica de origem marinha.

5.3.5 As e Cd

Os valores de As e Cd foram inferiores aos encontrados em regiões consideradas com poluídas como no Porto de Nápoles na Itália (Ferraro et al. 2006) e na Laguna de Aveiro em Portugal (Martins et al. 2015). Contudo, as concentrações de As no ERC excederam o ER-L, enquanto Cd manteve-se abaixo deste guia (Tabela 5). Ferraro et al. (2006) identificaram a correlação positiva entre os valores de Cd, COT e sedimento silto-argilosos e Martins et al. (2015)

encontraram maiores concentrações de As e Cd adsorvidos a hidróxidos de Mn do sedimento. Silva (2002) verificou que o Cd foi adsorvido mais facilmente aos sedimentos em ambientes com pH acima de 7,0. No presente estudo, a concentração mais elevada de Cd (CH11-A) está associada a um sedimento com 75,7% de areia média e fina, 14,5% de silte e 9,8% de argila, com alto percentual de MO (22%) e pH entre 7 – 8 o que sugere que a granulometria não é um fator controlador da concentração e biodisponibilidade de Cd com sugerido por Ferraro et al. (2006).

Diversos autores (De Vivo et al. 1989; De Vivo & Rolandi 2001) descreveram que valores moderados a elevados de As são comuns em sedimentos marinhos devido à influência de circulação hidrotermal e a dissolução de sulfetos de As. Este padrão também foi observado no ERC onde as maiores concentrações de As foram obtidas no estuário inferior.

5.3.5 Cr, Cs, Hg

Os estudos prévios listados na Tabela 5 encontraram, em sua maioria, valores de Cr superiores ao obtidos no ERC, que por sua vez não excedeu o guia ER-L. As concentrações mais elevadas de Cr já foram associadas com períodos de chuva e ao maior teor de MO (Coimbra et al. 2015; Silva 2010). Os valores para os elementos Cs e Hg no ERC também foram reduzidos quando comparados aos demais metais e metaloides analisados. Embora os valores de Cs não tenham sido expressivos, foram mais elevados do que em algumas regiões consideradas impactadas como a Laguna de Aveiro em Portugal (Martins et al. 2015).

A maioria das estações analisadas no ERC apresentaram valores de Hg superiores ao ER-L. Ferraro et al. (2006) também encontraram valores expressivos de Hg (10 vezes maiores que o limite ER-M) em seu estudo na região portuária da baía de Nápoles na Itália. Estudos prévios relacionaram as maiores concentrações de Hg às frações silto-argilosas e à MO no sedimento (Almeida & Souza 2008; Barrocas & Wasserman 1998; Coimbra et al. 2015; Melamed et al. 1997; Moore & Ramammorthy 1984). Entretanto, assim como observado no presente estudo, a relação entre Hg e a fração silto-argilosa não é sempre válida. Segundo Miller, Lechler & Desilets (1998), o Hg nos sedimentos de fundo grosseiros do canal fluvial está relacionado a fragmentos de amalgama Au-Ag-Hg na fração arenosa, produzida pelo processo de amalgamação do garimpo no rio Carson/Nevada nos EUA. O estudo de Duleba et al. (2018) também apontam para a associação entre altos valores de Hg e condições mais oxidadas em regiões sob influência marinha. Possivelmente a concentração de Hg no ERC está relacionada a forte influência marinha promovida pela alta hidrodinâmica.

Tabela 5 Comparação das faixas de ocorrência de elementos-traço biodisponíveis no presente estudo e em outros ambientes costeiros (ER-L e ER-M do inglês Effect-Range Low e Effect-Range Median, reportados no guia da US EPA, publicado em Long et al. (1995). LD – Limite de detecção).

			Al	As	Cd	Cr	Cs	Cu	Fe	Hg	Mg	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
Brasil	Estuário do rio Cachoeira-BA	Presente estudo	Min. 381 Max. 15.434	1,02 29	0 0,57	1,3 43	0,02 257	0,18 114	1022 34319	0 0,32	352 18.672	21,7 497	0,48 37,6	0,62 877	2,66 475	3,95 390
	Canal do S. Sebastião-PE	(Duleba et al. 2018)	Min. - Max. -	1,7 8,6	0 0,1	5,8 43,6	-	2,6 36	-	0 0,2	-	-	2,5 17,7	3,5 23,5	47,4 879,3	11,7 67,3
	Rio Bento Gomes-MT	(Coringa et al. (2016)	Min. - Max. -	-	-	2,4 21,85	-	0,48 22,11	830 15.530	-	-	135,83 652,5	<LD 26,09	-	-	4,51 46,05
	Parque dos Manguezais-PE	Silva (2010)	Min. - Max. -	-	-	24 263	-	-	11496 47.880	-	-	75 341	-	-	-	63 701
	Laguna de Itaipu-RJ	(Lacerda et al. 1992)	Max. -	-	-	-	-	7,2	-	-	-	33	5,5	14	-	40
	Laguna de Piratininga-RJ	(Lacerda et al. 1992)	Max. -	-	-	-	-	5,5	-	-	-	33	2,7	16	-	25,8
Itália	Porto de Nápoles	(Ferraro et al. 2006)	-	9,2 165,7	0,06 3,1	6 838,5	-	15,4 626	-	0 7,23	-	-	8,2 154,31	22,9 739,22	-	0 1.994,3
	Costa do Mar Adriático	(Frontalini & Coccioni 2008)	Min. - Max. -	1 14	0,1 0,9	10 55,5	-	4 27	-	0,01 0,07	-	553,3 821	11 50,7	5 52,6	-	19 66,5
Portugal	Laguna de Aveiro	(Martins et al. 2015)	Min. - Max. -	1,9 46,8	0,2 1,82	-	0,05 0,22	2,4 24,6	-	0,006 0,459	-	-	2,2 7,3	6,9 88,3	-	31,5 860,2
Tunisia	Laguna de Bizerte	(Zaaboub et al. 2015)	Min. - Max. -	-	0,1 0,6	44 281	-	5 30	-	-	-	-	23 40	39 99	-	214 460
USEPA	ER-L			8,2	1,2	81		34		0,15			20,9	46,7		150
	ER-M			70	9,6	370		270		0,71			51,6	218		410

5.4 Setorização do Estuário do Rio Cachoeira

Quatro setores puderam ser definidos na PCA que foram distinguidos principalmente pela influência marinha, fluvial, pelo acúmulo de matéria orgânica e pela concentração de elementos-traço.

O setor I é amplo geograficamente e está localizado tanto na região do estuário inferior quanto do superior conforme a compartimentação proposta por Souza et al. (2005). Este setor é representado pelas estações de sedimento mais fino e com sedimento predominantemente arenoso. A granulometria, portanto, não foi o parâmetro de maior relevância na definição deste setor e sim os valores mais elevados de COT, MO, CO₃ e dos elementos-traço Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr e Zn. A correlação de elementos-traço com COT, MO e CO₃ foi registrada por Lacerda et al. (1988) que verificaram maior biodisponibilidade destes metais associados à matéria orgânica e a estruturas carbonáticas de origem biogênicas e a óxidos ferrosos e sulfetos ferrosos. O transecto CH08, entretanto, mesmo apresentando sedimento majoritariamente arenoso e baixo percentual de MO e CO₃, exibiu elevadas concentrações de Cu, Fe, Mg, Mn e Pb. Acredita-se que a boa oxigenação do sedimento nesta região, apontada pelos altos valores da razão C/S, esteja aumentando a biodisponibilidade destes elementos. A concentração dos compostos orgânicos e dos elementos-traço (com exceção de As e Cs) evidenciam que este é o setor do estuário que sofre maior impacto causado pelos numerosos despejos urbanos e industriais que atingem o rio Cachoeira e alcançam a região estuarina.

O setor II é definido pela zona de predominância da influência fluvial do estuário, evidenciado pelo pH reduzido, salinidade próxima a zero, maior temperatura da água e Chl, e sedimento composto majoritariamente por areia fina. As concentrações de elementos-traço não são tão expressivas quanto no setor I, provavelmente devido a maior energia na região.

O setor III, que se encontrou em oposição ao II, também é caracterizado por sedimento arenoso, entretanto com aparente influência marinha. De fato, ao localizar espacialmente os setores na Figura 7B, fica nítida a influência do mar no setor III e fluvial no setor II. A baixa relevância do Eixo 2 na PCA (Figura 7A) indica que as variáveis medidas na coluna d'água (salinidade, pH, OD, turbidez e TDS) não são as mais adequadas para caracterizar o ambiente sedimentar no ERC. Assim, estudos futuros que possam aferir estas variáveis no sedimento seriam importantes para garantir melhor compreensão do ecossistema no que tange a dinâmica sedimentar.

O setor IV foi definido como a área de alta hidrodinâmica visualizada pela forte correlação positiva

com areia e influência marinha direta pela localização na foz. A diferença para o setor III está principalmente no acúmulo de matéria orgânica e elementos-traço, que não foi expressivo para o setor IV. O setor III, por sua vez, mesmo próximo à foz, encontra-se circundado por vegetação de manguezal e geograficamente próximo das conexões com os rios Itacanoeira e Santana, acarretando maior aporte de compostos orgânicos nesta região que são os responsáveis por adsorver os elementos-traço.

6 Conclusão

Os resultados deste estudo revelaram altas concentrações de elementos-traço biodisponíveis no sedimento do estuário do rio Cachoeira, com destaque para o As, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn que foram registrados em concentrações superiores aos limites estabelecidos por agências de proteção ambiental internacionais. Acredita-se que a biodisponibilidade dos elementos esteja sendo favorecida pela maior oxigenação do sedimento, evidenciada pela razão C/S elevada na região em que as suas concentrações foram mais elevadas, associado a um período de menor precipitação na bacia hidrográfica.

O estuário apresentou grande heterogeneidade espacial das variáveis ambientais, que por sua vez aparentam ser tanto de ordem natural quanto antrópica. A influência marinha, observada através da maior salinidade e pH, se estende até o estuário interno, a aproximadamente 4 km de distância da foz, onde o aumento da temperatura e da clorofila indicam a mistura com a água fluvial. O impacto antrópico, por sua vez, é demonstrado no aumento expressivo do percentual de matéria orgânica nas estações próximas a estação de tratamento de esgoto e nas proximidades aos rios Itacanoeira e Santana, que percorrem os aglomerados urbanos e os manguezais na cidade de Ilhéus.

De acordo com o gradiente de influência marinha ou fluvial, acúmulo de compostos orgânicos e elementos-traço foi possível dividir o estuário em quatro setores. O setor I é o mais amplo geograficamente e se estende pelo estuário inferior e superior apresentando granulometria diversificada, variáveis da água com características da mistura fluvial e marinha e, principalmente, maiores concentrações de elementos-traço e compostos orgânicos. Entende-se esta como a zona mais impactada e de maior estresse ambiental do estuário do rio Cachoeira. O setor II apresenta maior influência fluvial, sedimento arenoso e concentrações pouco expressivas de elementos-traço. Os setores III e IV estão localizados no estuário inferior e apresentaram nítida influência marinha, e se diferenciaram somente em relação à concentração de matéria orgânica. O setor III recebe aporte de matéria orgânica do manguezal e dos rios Itacanoeira e Santana.

O presente estudo mostrou-se eficiente na caracterização ambiental preliminar do ERC e na identificação das regiões de maior acúmulo de elementos-traço. Porém, para melhor compreensão do impacto na biota e o processo de bioacumulação desses elementos na cadeia trófica, é incentivada a realização de futuros estudos que busquem entender a biodiversidade de organismos bentônicos assim como a concentração de elementos-traço que são absorvidas por eles.

7 Agradecimentos

O presente estudo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, que financiou a bolsa de mestrado de Débora Raposo. Os custos das atividades de coleta foram parcialmente financiados pelo projeto intitulado “Foraminíferos e Tecamebas dos estuários do litoral oriental do Brasil (Programa INOVA/UNIRIO)”, coordenado pelo Prof. Dr. Lazaro Laut e realizado em parceria com a Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). O autor agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa (processo no. 302582/2019-3).

8 Referências

- Almeida, A.O., Coelho, P.A., Santos, J.T.A. & Ferraz, N.R. 2006, ‘Crustáceos decápodos estuarinos de Ilhéus, Bahia, Brasil’, *Biota Neotropica*, vol. 06, no. 02, pp. 1-24. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032006000200024>
- Almeida, M.G. & Souza, C.M.M. 2008, ‘Distribuição espacial de mercúrio total e elementar e suas interações com carbono orgânico, área superficial e distribuição granulométrica em sedimentos superficiais da bacia inferior do rio Paraíba do Sul, RJ, Brasil’, *Geochimica Brasiliensis*, vol. 22, no. 03, pp. 140-158.
- Amorim, R.R., Moreau, A.M.S.S., Moreau, M.S., Fontes, E.O. & Costa, L.M. 2010, ‘Estratificação de ambientes como ferramenta no estudo das unidades de paisagem: o cenário do município de Ilhéus-Bahia’, *Caminhos de Geografia*, vol. 11, pp. 140-157.
- Aragon, G.T., Ovalle, A.R.C., Miguens, F.C., Rezende, C.E. & Carmouse, J.P. 1996, ‘Pyrite Formation in mangrove sediments, Brazil’, *4^o International Symposium of Geochemistry of The Earth's Surface*, Ilkley, University of Leeds, pp. 29-33.
- ASTM - American Society for Testing and Materials 2008, *Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion Methods - ASTM D4239*, viewed 25 November 2018, < <https://www.astm.org/>>.
- Aston, S.R. & Hewitt, C.N. 1977, ‘Phosphorus and carbon distributions in a polluted coastal environment’, *Estuarine and Coastal Marine Science*, vol. 05, pp. 243-254.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry 2018, viewed 07 August 2018, <https://www.atsdr.cdc.gov/>.
- Azpuruza M.A. & Ramos K.D. 2010, ‘A comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude’, *Progress in Electromagnetics Research*, vol. 14, pp. 135-145.
- Bahia 2001, *Programa de Recuperação das Bacias dos Rios Cachoeira e Almada, Diagnóstico regional, Caracterização hidrológica*, vol. 1, SRH/UESC, Ilhéus, Bahia.
- Bahia 2017, *Plano Estratégico para Revitalização da Bacia do Rio Cachoeira*, RP1 - Diagnóstico Ambiental, vol. 1, t16014, viewed 10 August 2018, <http://cachoeira.participacao publica.com/ficheiros/RP1_DiagnosticoAmbiental.pdf>.
- Barbosa, J.S.F. & Domingues, J.M.L. 1996, ‘*Mapa geológico do estado da Bahia – Texto explicativo*’, Governo do estado da Bahia, Salvador, Bahia.
- Barrocas, R.G. & Wasserman, J.C. 1998, ‘Mercury behavior in sediments from a sub-tropical coastal environment in SE Brazil’ in Wasserman, J.C., Silva-Filho, E.V. & Abrão, J.J. (eds), *Geochemistry of Tropical Environments*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 211-233.
- Bergin, F., Kucuksezgin, F., Uluturhan, E., Barut, I.F., Meric, E., Avsar, N. & Nazik, A. 2006, ‘The response of benthic foraminifera and ostracoda to heavy metal pollution in Gulf of Izmir (Easter Aegean Sea)’, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 66, pp. 368-386. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.09.013>
- Brayner, F.M.M. & Matvienko, B. 2003, ‘Manganese and iron as oxygen carriers to anoxic estuarine sediment’, *Journal de Physique*, vol. 107, no. 01, pp. 22-232. <https://doi.org/10.1051/jp4:20030284>
- Chiba, W.A.C., Passerini, M.D. & Tundisi, J.G. 2011, ‘Metal contamination in benthic macroinvertebrates in a sub-basin in the southeast of Brazil’, *Brazilian Journal of Biology*, vol. 71, no. 02, pp. 391-399. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000300008>
- Coimbra, C.D., Carvalho, G., Philippini, H., Silva, M.F.M. & Neiva, E. 2015, ‘Determinação da concentração de metais traço em sedimentos do estuário do Rio Maracaípe - PE/ Brasil’, *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, vol. 19, no. 02, pp. 58-75. <https://doi.org/10.14210/bjast.v19n2.4863>
- Conley, D.D., Raas, H, MØhlenberg, F., Rasmussen, B.E & Windolf, J. 2000 ‘Characteristics of Danish estuaries’, *Estuaries*, vol. 23, no. 06, pp. 820 - 837. <https://doi.org/10.2307/1353000>
- Coringa, J.E.S., Pezza, L., Coringa, E.A.O. & Weber, O.L.S. 2016, ‘Distribuição geoquímica e biodisponibilidade de metais traço em sedimentos no Rio Bento Gomes, Poconé - MT, Brasil’, *Acta Amazonica*, vol. 46, no. 02, pp. 161-174. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201502215>
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais 1997, ‘Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil’, *Itabuna, Folha SD 24-Y-B-VI*, in Arcanjo, J.B.A. (ed), CPRM, Brasília, DF, pp. 276.
- Dana, J.D. 1976, *Manual de Mineralogia*, Rio de Janeiro: ao livro técnico e científico, Rio de Janeiro.
- Dauer, D.M., Ranasinghe, J.A. & Weisberg, S.B. 2000, ‘Relationship between benthic community condition, water quality, sediment quality, nutrient loads, and land use patterns

- in Chesapeake Bay' *Estuaries*, vol. 23, no. 01, pp. 80-96. <https://doi.org/10.2307/1353227>
- De Vivo, B. & Rolandi, G. 2001, 'Mount Vesuvius and volcanism of the Campanian plain', *Mineralogy and Petrology*, vol. 73, pp. 1-3. <https://doi.org/10.1007/s007100170006>
- De Vivo, B., Belkin, H.E., Barbieri, M., Chelini, W., Lattanzi, P., Lima, A. & Tolomeo, L. 1989, 'The Campi Flegrei (Italy) geothermal system: a fluid inclusion study of Mofete and San Vito fields', *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 36, pp. 303-326.
- Diretoria de Hidrografia e Navegação 2016, *Tábuas de marés*, Marinha do Brasil, viewed 07 October 2016, <<http://www.dhn.mar.mil.br/>>.
- Dias, P.P.B.B., Martins, M.V.A., Clemente, I.M.M.M., Carelli, T.G., Silva, F.S., Fontana, L.F., Lorini, M.L., Panigai, G., Pinheiro, R.H., Mendonça-Filho, J.G. & Laut, L.L.M. 2017, 'Assessment of the Trophic State of Saquarema Lagoonal System, Rio de Janeiro (Brazil)', *Journal of Sedimentary Environments*, vol. 02, no. 01, pp. 49-64. <https://doi.org/10.12957/jse.2017.28194>
- Dogfish Muscle Reference Material 2018, DORM-4, *Fish protein certified reference material for trace metals*, National Research Council Canada (NRC Canada), viewed 13 October 2018, <https://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/solutions/advisory/crm/certificates/dorm_4.html>
- Duleba, W., Teodoro A.C., Debenay, J.P., Martins M.V.A., Gubitoso, S., Pregolato, L.A., Lerena, L.M., Prada, S.M. & Bevilacqua, J.E. 2018, 'Environmental impact of the largest petroleum terminal in SE Brazil: A multiproxy analysis based on sediment geochemistry and living benthic foraminifera', *Plos One*, vol. 13, no. 02, pp. e0191446. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191446>
- Eichler, P.P.B., Eichler, B.B., Miranda, L.B., Pereira, E.R.M., Kfour, P.B.P., Pimenta, F.M., Bérnago, A.L. & Vilela, C.G. 2003, 'Benthic Foraminiferal Response to Variations in Temperature, Salinity, Dissolved Oxygen and Organic Carbon, in the Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil', *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, vol. 26, pp. 36-51.
- Elwakeel, K.Z., El-Sayed, G.O. & El-Nassar, S.M.A. 2014, 'Removal of ferrous and manganous from water by activated carbon obtained from sugarcane bagasse', *Desalination and Water Treatment*, vol. 55, no. 02, pp. 471-483. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.919606>
- Engelbrecht, B.Z., Gonçalves, R.D., Teramoto, E.H. & Chang, H.K. 2019, 'Disponibilidade hídrica e balanço hídrico da Bacia do Rio Cachoeira na região de Itabuna/BA', *Geociências*, vol. 38, no. 03, pp. 731-740. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i3.13806>
- Feitosa, F.A.N., Nascimento, F.C. & Costa, K.M.P. 1999, 'Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na Bacia do Pina (Recife - PE)', *Tropical Oceanography*, vol. 27, pp. 1-13. <https://doi.org/10.5914/tropocean.v27i2.2813>
- Ferraro, L., Sprovieri, M., Alberico, I., Lirer, F., Prevedello, L. & Marsella, E. 2006, 'Benthic foraminifera and heavy metals distribution: A case study from the Naples Harbour (Tyrrhenian Sea, Southern Italy)', *Environmental Pollution*, vol. 142, pp. 274-287. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.10.026>
- Fidelman, P.I.J. 2005, 'Contribuição para a mitigação dos impactos da macrófita aquática *Eichhorniacras sipes* sobre a zona costeira da região Sul da Bahia', *Gerenciamento Costeiro Integrado*, vol. 04, no. 03, pp. 1 - 5.
- Flemer, D.A. & Champ, M.A. 2006, 'What is the future fate of estuaries given nutrient overenrichment, freshwater diversion and low flows?', *Marine Pollution Bulletin*, vol. 52, pp. 247-258. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.11.027>
- Flemming, B.W. 2000, 'A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis of ternary diagrams', *Continental Shelf Research*, vol. 20, pp. 1125-1137. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(00\)00015-7](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(00)00015-7)
- Franco, G.B., Lavenère-Wanderley, A.A.O. & Moreau, M.S. 2006, 'Estudo comparativo da batimetria (1941-1976) da Baía do Pontal, em Ilhéus - Bahia', *Caminhos de Geografia*, vol. 07, no. 18, pp. 37-46.
- Gu, B., Bian, Y., Miller, C.L., Dong, W., Jiang, X. & Liang, L. 2011, 'Mercury reduction and complexation by natural organic matter in anoxic environments', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 108, no. 04, pp. 1479-1483. <https://doi.org/10.1073/pnas.1008747108>
- Guimarães, A.G. 2006, 'Tempo de residência da água e estado trófico da porção interna do Estuário do Rio Cachoeira, Ilhéus-BA', Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Santa Cruz. <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp097014.pdf>
- Ip, C.C.M., Li, X.D., Zhang, G., Farmer, J.G., Wai, O.W.H. & Li, Y.S. 2004, 'Over one hundred years of trace metal fluxes in the sediments of the Pearl River Estuary, South China', *Environmental Pollution*, vol. 132, pp. 157-172. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.03.028>
- Koenig, M.L., Eskinazi-Leça, E., Sigrid Neumann-Leitão, S. & Macêdo S.J. 2002, 'Impactos da Construção do Porto de Suape Sobre a Comunidade Fitoplanctônica no Estuário do Rio do Ipojuca (Pernambuco-Brasil)', *Acta Botanica Brasilica*, vol. 16, no. 04, pp. 407-420.
- Lacerda, L.D., Fernandez, M.A., Calazans, C.F. & Tanizaki, K.F. 1992, 'Bioavailability of heavy metals in sediments of two coastal lagoons in Rio de Janeiro, Brazil', *Hydrobiologia*, vol. 228, pp. 65-70. <https://doi.org/10.1007/BF00006477>
- Lacerda, L.D., Martinelli, L.A., Rezende, C.E., Moz- Etto, A.A., Ovale, A.R.C., Victoria, R.L., Silva, C.A.R. & Nogueira, F.B. 1988, 'The fate of trace metals in suspended matter in a mangrove creek during a tidal cycle'. *Science of the Total Environment*, vol. 75, no. 02-03, pp.: 169-180. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(88\)90030-7](https://doi.org/10.1016/0048-9697(88)90030-7)
- Laut, L., Martins, M.V.A., Belart, P.; Lorini, M.L., Clemente, I., Nogueira, L.N., Juliace, A. & Fontana, L.F. 2019, 'Organic compounds as proxies of the sedimentary environmental quality of the Maricá-Guarapina Lagoon System (SE, Brazil)' *Journal of Sedimentary Environments*, vol. 04, no. 02, pp. 159-173. <https://doi.org/10.12957/jse.2019.43371>
- Laut, L., Martins, M.V.A., Frontalini, F., Ballalai, J.M., Belart, P., Habib, R., Fontana, L.F., Clemente I.M.M.M., Lorini, M.L., Mendonça Filho, J.G., Laut, V.M. & Figueiredo, M.S.L. 2017, 'Assessment of the trophic state of a hypersaline-carbonatic environment: Vermelha Lagoon (Brazil)', *Plos One*, vol.

- 12, no. 09, pp. e0184819. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184819>
- Laut, L., Vilar, A., Belart, P., Clemente, I., Fontana, L., Pereira, E. & Ballalai, J. 2020, 'Organic matter compounds as a tool for trophic state characterization in a hypersaline environment: Araruama Lagoon, Brazil', *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 97, pp. 102403. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102403>
- Laut, L.L.M., Cabral, I.A., Rodrigues, M.A.C., Silva, F.S., Martins, V.A., Boski, T., Gomes, A.I., Dias, J.M.A., Fontana, L.F., Laut, V.M. & Mendonça-Filho, J.G. 2014, 'Compartimentos Ambientais do Estuário do Rio Arade, Sul de Portugal, com Base na Distribuição e Ecologia de Foraminíferos', *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, vol. 37, no. 02, pp. 60-74. https://doi.org/10.11137/2014_2_60_74
- Laut, L.L.M., Martins, M.V.A., Fontana, L.F., Silva, F.S., Mendonça-Filho, J.G., Clemente, I.M.M.M., Frontalini, F., Raposo, D., Belart, P. & Ballalai, J. 2016b, 'Ecological status evaluation of Itaipu Lagoon (Niterói) based on biochemical composition of organic matter', *Journal of Sedimentary Environments*, vol. 01, no. 03, pp. 304 - 323. <https://doi.org/10.12957/jse.2016.25903>
- Laut, L.L.M., Martins, V., da Silva, F.S., Crapez, M.A.C.; Fontana, L.F., Carvalhal-Gomes, S.B.V. & Souza, R.C.C.L. 2016a, 'Foraminifera, thecamoebians, and bacterial activity in polluted intertropical and subtropical Brazilian estuarine systems'. *Journal of Coastal Research*, vol. 32, no. 01, pp. 56-69. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00042.1>
- Levenson, H. 1987, 'Estuaries and coastal waters need help', *Environmental Science & Technology*, vol. 21, pp. 1052-1054.
- Linnik, P.M. & Zubenko, I.B. 2000, 'Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy-metal compounds', *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, vol. 5, no. 01, pp. 11-21. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1770.2000.00094.x>
- Long, E.R., Macdonald, D.D., Smith, S.L. & Calder, F.D. 1995, 'Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments' *Environmental Management*, vol. 19, pp. 81-97.
- Lucio, M.Z.T.P.Q.L. 2010, 'Biogeoquímica do Rio Cachoeira (Bahia, Brasil)', Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Santa Cruz. http://nbcgib.uesc.br/ppgsat/files/PPGSAT/Dissertacoes/Maria_Zita_Tabosa_Pinheiro_de_Q_L_Lucio.pdf
- Manzini, F.F, Sá, K.B. & Plicas, L.M.A. 2010, 'Metais pesados: fonte e ação toxicológica', *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, vol. 06, no. 12, pp. 800-815.
- Maríns, R.V., Filho, F.J.P. & Rocha, C.A.S. 2007, 'Geoquímica de Fósforo como Indicadora da Qualidade Ambiental e dos Processos Estuarinos do Rio Jaguaribe - Costa Nordeste Oriental Brasileira', *Química Nova*, vol. 30, no. 05, pp. 1208-1214.
- Martins, M.V.A., Silva, F., Laut, L.L.M., Frontalini, F., Clemente, I.M.M.M., Miranda, P., Figueira, R., Sousa, S.H.M. & Dias, J.M.A. 2015, 'Response of Benthic Foraminifera to Organic Matter Quantity and Quality and Bioavailable Concentrations of Metals in Aveiro Lagoon (Portugal)', *Plos One*, vol. 10, no. 02, pp. e0118077. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118077>
- Melamed, R., Villas, Bôas, R.C., Gonçalves, G.O. & Paiva, E.C. 1997, 'Mechanisms of physical-chemical interaction of mercury with river sediments from a gold mining region in Brazil: relative mobility of mercury species', *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 58, pp. 119-124.
- Mendonça-Filho, J.G., Menezes, T.R., Oliveira, E. & Iemma, M.B. 2003, 'Caracterização da contaminação por petróleo e seus derivados na Baía de Guanabara: aplicação de técnicas organogeoquímicas e organopetrográficas', *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, vol. 26, no. 01, pp. 69-78.
- Miller, J., Lechler, P. & Desilets, M. 1998, 'The role of geomorphic processes in the transport and fate of mercury in the Carson River basin, west-central Nevada', *Environmental Geology*, vol. 33, pp. 249-262. <https://doi.org/10.1007/s002540050244>
- Moore, I.W. & Ramamoorthy, S. 1984, *Heavy Metals in Natural Waters*, Springer, New York, NY. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5210-8>
- Noronha, T.J.M., Silva, H.K.P. & Duarte, M.M.M.B. 2011, 'Avaliação das Concentrações de Metais Pesados em Sedimentos do Estuário do Rio Timbó, Pernambuco-Brasil', *Arquivos de Ciências do Mar*, vol. 44, no. 02, pp. 70-82. <https://doi.org/10.32360/acmar.v44i2.164>
- Oliveira, A.B., Rizzo, A.E. & Couto, E.C.G. 2013, 'Assessing Decomposition Rates of Rhizophora mangle and Laguncularia racemosa Leaves in a Tropical Mangrove', *Estuaries and Coasts*, vol. 36, no. 06, pp. 1354-1362. <https://doi.org/10.1007/s12237-013-9627-y>
- Oliveira, M.C.R.A. 1997, *As relações Ambientais da Bacia do Rio Cachoeira (Sul da Bahia)*, Editus, Ilhéus, Bahia.
- Pinho, A.G. 2001, 'Estudo da qualidade das águas do Rio Cachoeira - Região Sul da Bahia', Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Santa Cruz.
- Rabalais, N.N. 2002, 'Nitrogen in aquatic ecosystems', *AMBIO A Journal of the Human Environment*, vol. 31, pp. 102-112. [https://doi.org/10.1639/0044-7447\(2002\)031\[0102:NIAE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1639/0044-7447(2002)031[0102:NIAE]2.0.CO;2)
- Santos, J.W. 2005, 'Fácies hidrogeoquímicas da bacia do Rio Salgado - Sul da Bahia', Dissertação Mestrado Universidade Estadual de Santa Cruz.
- Schiavetti, A., Schilling, A.C. & Oliveira, H.T. 2005, 'Caracterização sócio-ambiental da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, sul da Bahia, Brasil, in Schiavetti, A. & Camargo, A.F.M. (eds), *Conceito de bacias hidrográficas: teorias e aplicações*. Editus, Ilhéus, Bahia, pp. 141-161.
- Silva, F.S., Laut, L.L.M, Santos, E.S., Laut, V.M., Crapez, M.A.C. & Mendonça Filho, J.G. 2011, 'Biopolímeros, Carbono e Enxofre Totais Associados à Atividade Bacteriana dos Sedimentos Superficiais do Delta do Paraíba do Sul, RJ-Brasil', *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, vol. 34, no. 01, pp. 33-45.
- Silva, H.K.P. 2010, 'Avaliação das concentrações de metais traço e suas interações nos sedimentos e biota do parque dos manguezais, região metropolitana do Recife (RMR), Pernambuco, Brasil', Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco. https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/8337/1/arquivo391_1.pdf

- Silva, M.A.M., Souza, M.F.L. & Abreu, P.C. 2015, 'Spatial and temporal variation of dissolved inorganic nutrients, and chlorophyll-a in a tropical estuary in northeastern Brazil: dynamics of nutrient removal', *Brazilian Journal of Oceanography*, vol. 63, no. 01, pp. 1 - 15. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592015064506301>
- Silva, M.R.C. 2002, 'Estudo de sedimentos da bacia hidrográfica do rio Moji-Guaçu, com ênfase na determinação de metais', Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.75.2002.tde-02092002-165919>
- Souza, A.T.M., Silva, N.R.S., Wetler, R.M.C., Santana, T.B., Tedesco, E.C., Abreu, P.C.O.V., Ribeiro, S.M.M.S. & Souza, M.F.L. 2005, 'Fitoplâncton observado em uma radial ao longo do estuário do rio Cachoeira, Ilhéus – BA', *2º Congresso Brasileiro de Oceanografia*, Vitória, pp. 2109 - 2111.
- Souza, M.F.L., Eça, G.F., Silva, M.A.M., Amorim, F.A.C. & Lôbo, I.P. 2009, 'Distribuição de nutrientes dissolvidos e clorofila-a no Estuário do Rio Cachoeira, Nordeste do Brasil'. *Atlântica*, vol. 31, pp. 107-121. <https://doi.org/10.5088/atl.2009.31.1.107>
- Stankovic, S., Kalaba, P. & Stankovic, A.R. 2014, 'Biota as toxic metal indicators', *Environmental Chemistry Letters*, vol. 12, pp. 63-84. <https://doi.org/10.1007/s10311-013-0430-6>
- Tappin, A.D. 2002, 'An examination of the fluxes of nitrogen and phosphorus in temperate and tropical estuaries: current estimates and uncertainties', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 55, pp. 885-901. <https://doi.org/10.1006/ecss.2002.1034>
- Templeton, D.M., Ariese, F., Cornelis, R., Danielsson, L.G., Muntau, H., Van Leeuwen, H.P. & Lobiński, R. 2000, 'Guidelines for terms related to chemical speciation and fractionation of elements Definitions, structural aspects, and methodological approaches', *Pure and Applied Chemistry*, vol. 72, pp. 1453-1470. <https://doi.org/10.1351/pac200072081453>
- Tiller, K.G. 1989, 'Heavy metal in soils and their environmental significance' in Tiller, K.G. (ed), *Advances in soil science*, Springer, New York, NY, pp.113-114. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3532-3_2
- Troeh, F.R. & Thompson, L.M. 2007, *Soils and soil fertility*. Blackwell Publishing, Oxford.
- United States Environmental Protection Agency 2002, *Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soils and Sediments. Ecological Risk Assessment Support Center, Office of Research and Development NCEA-C- 1282*, viewed 19 august 2018, <<https://bit.ly/2BdnACL>>.
- Zaaboub, N., Martins, M.V.A., Dhib, A., Béjaoui, B., Galgani, F., El Bour, M. & Aleya, L. 2015, 'Accumulation of trace metals in sediments in a Mediterranean Lagoon: Usefulness of metal sediment fractionation and elutriate toxicity assessment', *Environmental Pollution*, vol. 207, pp. 226-237. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.033>
- Zioli, R.I., Barreto, A.S. & Jardim, W.F. 1995, 'Estudo preliminar da composição da água de chuva na região de Campinas – SP', *18ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química e 7º Encontro Brasileiro de Fotoquímica e Fotobiologia 1995*, Caxambu, pp. 1-3.

Recebido em: 26/06/2020

Aprovado em: 13/03/2021

Como citar:

Laut, L., Raposo, D., Clemente, I., Correia, F.V., Pereira, E., Vasconcelos, S.C., Ballalai, J.M., Belart, P. & Couto, E.C.G. 2021, 'Indicadores Geoquímicos e Biodisponibilidade de Elementos-traço em Sedimentos do Estuário do Rio Cachoeira, Ilhéus - BA, Brasil', *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 44: 35952. https://doi.org/10.1137/1982-3908_2021_44_35952