



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOQUÍMICA:  
PETRÓLEO E MEIO AMBIENTE

**ANDRESSA NERY LOPES**

BIOGEOQUÍMICA DE METAIS E NUTRIENTES EM FOLHAS DE  
*Avicennia germinans* Linnaeus (1764) e *Avicennia schaueriana* Stapft &  
Lechman (1939) EM ÁREAS DE MANGUEZAL DA REGIÃO LITORAL  
SUL DA BAHIA

Salvador

2013

**ANDRESSA NERY LOPES**

**BIOGEOQUÍMICA DE METAIS E NUTRIENTES EM FOLHAS DE  
*Avicennia germinans* Linnaeus (1764) e *Avicennia schaueriana* Stapft &  
Lechman (1939) EM ÁREAS DE MANGUEZAL DA REGIÃO LITORAL  
SUL DA BAHIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente - POSPETRO, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em geoquímica do petróleo e meio ambiente.

Orientadora: Profa. Dra. Vera Lucia Cancio Souza Santos.

Coorientadora: Prof. Dra. Karina Santos Garcia.

Salvador

2013

---

L864 Lopes, Andressa Nery.  
Biogeoquímica de metais e nutrientes em folhas de *Avicennia Germinans* Linnaeus (1764) e *Avicennia Schaueriana* Stapft & Lechman (1939) em áreas de manguezal da região litoral sul da Bahia / Andressa Nery Lopes. - Salvador, 2013.  
76f. : il.

Orientador: Profa. Dra. Vera Lucia Cancio Souza Santos.  
Dissertação (Mestrado em Geoquímica) Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 2014.

1. Biogeoquímica. 2. Ecologia dos manguezais – Litoral Sul - Bahia. 3. Folhas – Anatomia. 4. Manguezais – Biomassa vegetal. 5. Manguezal – Elementos químicos. 6. Nutrientes. I. Santos, Vera Lucia Cancio. II. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 577:551.468.3(813.8)

---

Elaborada pela Biblioteca do Instituto de Geociências da UFBA.

**BIOGEOQUÍMICA DE METAIS E NUTRIENTES EM FOLHAS DE  
*Avicennia germinans* Linnaeus (1764) e *Avicennia schaueriana*  
Stapft & Lechman (1939) EM ÁREAS DE MANGUEZAL DA  
REGIÃO LITORAL SUL DA BAHIA**

por

Andressa Nery Lopes

(Engenheira – Faculdade de Tecnologia e Ciências de Salvador – FTC - 2010, Salvador - Ba)

Orientadora: **Profa. Dra. Vera Lucia Cancio Souza Santos**  
Co-Orientadora: **Karina Santos Garcia**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

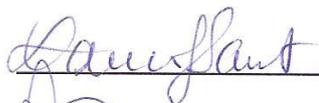
**Submetida em satisfação parcial dos requisitos do grau de**

**MESTRE EM GEOQUÍMICA DO PETRÓLEO E AMBIENTAL**

À Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal da Bahia

APROVAÇÃO

BANCA EXAMINADORA



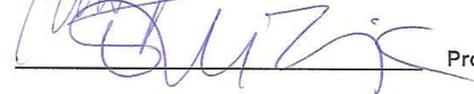
\_\_\_\_\_  
*Profa. Dra. Vera Lucia Cancio Souza Santos (UFBA)*



\_\_\_\_\_  
*Profa. Dra. Karina Santos Garcia (NEA/IGEO/UFBA)*



\_\_\_\_\_  
*Profa. Dra. Bárbara Rosemar Nascimento de Araújo (UNIME)*



\_\_\_\_\_  
*Profa. Dra. Olívia Maria Cordeiro de Oliveira (UFBA)*

Data da Defesa Pública: 17/10/2013

SALVADOR-BAHIA  
OUTUBRO/2013

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição de elementos químicos em espécies vegetais de zonas de manguezal dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha situados no litoral sul da Bahia, nos municípios de Una, Canavieiras e Belmonte, respectivamente. Para melhor entendimento dos processos biogeoquímicos atuantes nestes ambientes, foram realizadas as coletas em dois períodos e, para cada manguezal do estudo, seis estações foram estabelecidas. Em cada uma delas, 15 folhas verdes foram retiradas a partir do terceiro ramo para cada três árvores selecionadas aleatoriamente (triplicata de campo), resultando em 45 unidades por ponto de árvores de *Avicennia germinans*, Linnaeus (1764) e *Avicennia schaueriana*, Stapft & Lechman (1939). Além disso, também foram coletadas amostras do sedimento de entorno de suas raízes; e realizada a aferição dos parâmetros não conservativos na água intersticial. Todas as amostras foram submetidas a processos de digestão ácida e liofilização e, posteriormente, elementos químicos (Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, V, Zn) foram determinados nas folhas e sedimentos por meio da espectrometria de emissão ótica em plasma indutivamente acoplado (ICP OES). A homogeneidade e a normalidade dos dados foram confirmadas através do cálculo do coeficiente de variação ( $CV < 50\%$ ) e do teste de Shapiro-Wilk. Verificou-se também que não ocorreram diferenças significativas quanto à variação espaço-temporal na distribuição das concentrações médias dos analitos quantificados nas folhas das duas espécies e de sedimentos de entorno, após aplicação do teste t. Com relação ao estudo da influência dos parâmetros não conservativos, nas duas campanhas, o pH mostrou-se levemente ácido e o Eh apresentou grandes variações, sendo que estas observações valem para as duas campanhas. Os resultados analíticos demonstraram que os elementos Cd ( $< 0,01 \text{ mg Kg}^{-1}$ ), Cr ( $< 0,06 \text{ mg Kg}^{-1}$ ), Ni ( $< 0,02 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) e V ( $< 0,01 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação do ICP OES, e portanto, não ofereceram risco ao ambiente de estudo. A ordem decrescente das concentrações médias em  $\text{mg Kg}^{-1}$  dos elementos determinados apresentou-se da seguinte forma:  $\text{Mg} > \text{Na} > \text{K} > \text{P} > \text{Ca} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$  ou abaixo do limite de detecção, para as folhas de árvores dos três manguezais, com ressalva para o rio Pardo, o qual foi o único manguezal que apresentou concentrações de Cu nos seis pontos durante as duas campanhas. Para os elementos determinados nas folhas de árvores do manguezal do rio Una a análise dos componentes principais explicou em conjunto aproximadamente 72,5% da variância total dos dados. Por sua vez, para os elementos determinados nas folhas de árvores do manguezal do rio Jequitinhonha a análise dos componentes principais destacou um agrupamento por espécie, indicando que a *A. schaueriana* acumulou uma quantidade maior de elementos em comparação a *A. germinans*. E no manguezal do rio Pardo, a concentração dos elementos determinados nas folhas, revelou que os fatores de concentração calculados, encontraram-se abaixo de 1 (a exceção do Mn para a primeira campanha). Além disso, para os três manguezais deste estudo os teores médios dos elementos químicos determinados nas folhas apresentaram, em sua maioria, baixas correlações ( $r < 0,6$ ) com aquelas determinadas no sedimento, reforçando a baixa biodisponibilidade e que estas espécies vegetais atuam como barreira biogeoquímica diminuindo significativamente a absorção destes elementos.

**Palavras-chave:** *Avicennia*. Manguezal. Biogeoquímica.

## ABSTRACT

This work aimed to evaluate the distribution of chemical elements in certain plant species of mangrove areas of rivers Una, Pardo and Jequitinhonha Valley, belonging to the municipalities of Una, Canavieiras and Belmonte, respectively, located in the southern coast of Bahia. The data collection was performed in two periods for a better understanding of biogeochemical processes active in these environments, being that for each mangrove study were established 6 stations, in which were withdrawn 15 green leaves from the third branch for each three trees randomly selected (triplicate of field) resulting in 45 units per point, trees *Avicennia germinans* Linnaeus (1764) and *Avicennia schaueriana* Stapft & Lechman (1939) were collected together with sediment samples of surrounding its roots, as well as the measurement of parameters do not conservative in interstitial water. The samples were subjected to processes of acid digestion and lyophilization and, subsequently, the chemical elements (Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, V, Zn), leaves and sediment by means of optical emission spectrometry with inductively coupled plasma (ICP OES). The homogeneity and normality of data were confirmed by calculating the coefficient of variation ( $CV < 50\%$ ) and the Shapiro-Wilk test. It was also found that there were no significant differences in the time-space variation in the distribution of the mean concentrations of analytes quantified in leaves of the two species and sediment of surroundings, after application of the t test. With respect to the study of the influence of the parameters are not conservative, the pH was shown to be slightly acid and the Eh showed large variations, being that these comments are worth for the two campaigns. The analytical results showed that the elements Cd ( $< 0,01 \text{ mg Kg}^{-1}$ ), Cr ( $< 0,06 \text{ mg Kg}^{-1}$ ), Ni ( $< 0,02 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) and V ( $< 0,01 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) showed concentrations below the limit of quantification of the ICP OES, and therefore, not offered risk to the environment of the study. The descending order of average concentrations in  $\text{mg Kg}^{-1}$  of quantified elements presented in the following way:  $\text{Mg} > \text{In} > \text{K} > \text{P} > \text{Ca} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$  or zero for all three mangroves, with exception to the Pardo river, which was the single mangrove that showed concentrations of Cu in six points during the two campaigns. For the mangroves of the Una river the analysis of principal components explained in conjunction approximately 72,5% of the total variance of the data. For the mangroves of the Jequitinhonha river the analysis of principal components highlighted a grouping by species, indicating that the *A. schaueriana* accumulated a larger quantity of elements in comparison to *A. germinans*. And in the mangrove of rio Pardo the factors of concentration calculated, found-if below 1 (with the exception of Mn for the first year). In addition, for the three mangroves of this study the mean levels of chemical elements determined in leaves showed, in their majority, low correlations ( $r < 0,6$ ) with those determined in the sediment, reinforcing the low bioavailability and that these plant species act as barrier biogeochemistry avoiding the absorption of these elements.

Keywords: *Avicennia*. Mangrove. Biogeochemistry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de espécies de manguezais no mundo .....	12
Figura 2 – Aspectos morfológicos de <i>Rhizophora mangle</i> Linnaeus (1753).....	15
Figura 3 – Aspectos morfológicos de <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn. F. (1807)	16
Figura 4 – Aspectos morfológicos de <i>Avicennia schaueriana</i> Stapft & Lechman (1939).....	17
Figura 5 – Mapa de localização dos Municípios de Una, Canavieiras e Belmonte ...	19
Figura 6 – Pontos de amostragem na região de manguezal do rio Una, sul da Bahia. Coordenadas em metros (UTM, WGS84) .....	27
Figura 7 – Box & Whiskers Plot e Teste de Shapiro-Wilk para as concentrações médias dos elementos Fe, Mn e Zn ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ) em folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> do manguezal do rio Una – BA.....	29
Figura 8 – Diagrama de ordenação da Análise de Componentes Principais para os elementos químicos determinados nas folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> e sedimentos de entorno no manguezal do rio Una .....	32
Figura 9 – Gráficos de regressão linear das concentrações de Fe, Mn e Zn nas folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> e sedimentos de entorno, do manguezal do rio Una .....	33
Figura 10 – Distribuição das concentrações ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de Fe, Mn e Zn nas amostras analisadas, em função de pH e Eh.....	35
Figura 11 – Pontos de amostragem na região de manguezal do rio Jequitinhonha, sul da Bahia. Coordenadas em metros (UTM, WGS84).....	42
Figura 12 – Distribuição de macroatmentos determinados em folhas de <i>Avicennia</i> no manguezal do rio Jequitinhonha.....	43
Figura 13 – Distribuição de microatmentos determinados em folhas de <i>Avicennia</i> no manguezal do rio Jequitinhonha.....	44

Figura 14 – Diagrama de ordenação da Análise de Componentes Principais para os elementos químicos determinados nas folhas do gênero <i>Avicennia</i> no manguezal rio Jequitinhonha.....	46
Figura 15 – Gráfico de escores do diagrama de ordenação do PCA para os elementos químicos determinados nas folhas do gênero <i>Avicennia</i> no manguezal rio Jequitinhonha.....	47
Figura 16 – Pontos de amostragem na região de manguezal do rio Pardo, sul da Bahia. Coordenadas em metros (UTM, WGS84) .....	53
Figura 17 – 3D Scatterplot das concentrações médias de Ca, K, Mg, Na e P nas folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> Stapf & Leechman para as duas campanhas do manguezal do rio Pardo vs. pH e Eh.....	55
Figura 18 – 3D Scatterplot das concentrações médias de Fe, Mn e Zn nas folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> Stapf & Leechman para as duas campanhas do manguezal do rio Pardo vs. pH e Eh .....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Programação do forno de microondas para extração dos metais em folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> Stapf & Leechman e a <i>Avicennia germinans</i> Linnaeus dos manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha .....	21
Tabela 2 – Características de operação do equipamento para determinação dos elementos químicos nas folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> Stapf & Leechman, <i>Avicennia germinans</i> Linnaeus e sedimentos dos manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha .....	21
Tabela 3 – Resultados da análise do CRM NIST 1515 para folhas de maçã através do método proposto .....	22
Tabela 4 – Programação do forno de microondas para extração dos metais nos sedimentos dos manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha .....	23
Tabela 5 – Resultado da abertura, em forno de microondas, de amostras de material certificado de referência de sedimentos dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha .....	24
Tabela 6 – Avaliação espaço-temporal das concentrações dos elementos químicos determinados em folhas de <i>A. schaueriana</i> e sedimentos de entorno de suas raízes no manguezal do rio Una .....	30
Tabela 7 – Teste de correlação entre as concentrações dos elementos químicos determinados nas folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> e sedimentos de entorno, do manguezal do rio Una .....	31
Tabela 8 – Comparação dos teores dos elementos químicos em mg Kg <sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas nas folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> Stapf & Leechman do manguezal do rio Una, Una, Bahia com outros estudos .....	34
Tabela 9 – Comparação das médias dos fatores de concentração dos elementos químicos determinados nas folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> sob os do sedimento da área de manguezal do estuário do rio Una e outras regiões de manguezais .....	36
Tabela 10 – Concentrações médias (mg kg <sup>-1</sup> ) dos analitos determinados nas folhas do manguezal do rio Jequitinhonha por ICP OES .....	45

Tabela 11 – Comparação dos teores dos elementos químicos em mg Kg <sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas nas folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> Stapf & Leechman do manguezal do rio Pardo, Canavieiras, Bahia com outros estudos.....	57
Tabela 12 – Matriz de correlação entre as concentrações dos elementos químicos determinados nas folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> e sedimentos de entorno, do manguezal do rio Pardo .....	59
Tabela 13 – Concentrações médias em mg Kg <sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas dos elementos químicos determinados nas folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> do manguezal do rio Una, Una, Bahia.....	71
Tabela 14 – Concentrações médias em mg Kg <sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas dos elementos químicos determinados nas folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> do manguezal do rio Pardo, Canavieiras, Bahia .....	71
Tabela 15 – Concentrações médias em mg Kg <sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas dos elementos químicos determinados nas folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> e <i>Avicennia germinans</i> do manguezal do rio Jequitinhonha, Belmonte, Bahia.....	72
Tabela 16 - Concentrações médias em mg Kg <sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas dos elementos químicos do sedimento do rio Una, Una, Bahia.....	73
Tabela 17 – Tabela de valores dos parâmetros não conservativos e fósforo.....	73
Tabela 18 - Concentrações médias em mg.Kg <sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas dos elementos químicos do sedimento do rio Pardo, Canavieiras, Bahia.....	74
Tabela 19 – Tabela de valores dos parâmetros não conservativos e fósforo.....	74
Tabela 20 - Concentrações médias em mg.Kg <sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas dos elementos químicos do sedimento do rio Jequitinhonha, Belmonte, Bahia.....	75
Tabela 21 – Tabela de valores dos parâmetros não conservativos e fósforo.....	75

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1	O ECOSSISTEMA MANGUEZAL.....	13
1.1.1	<i>Rhizophora mangle</i> Linnaeus (1753).....	14
1.1.2	<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn. F. (1807) .....	15
1.1.3	<i>Avicennia schaueriana</i> Stapft & Lechman (1939).....	16
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
2.1	GERAL .....	18
2.2	ESPECÍFICOS .....	18
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	19
3.2	AMOSTRAGEM.....	20
3.2.1	Folhas.....	20
3.2.2	Sedimento .....	20
3.2.3	Armazenamento .....	20
3.3	ANÁLISES DE LABORATÓRIO .....	20
3.3.1	Determinação da concentração dos elementos nas Folhas .....	21
3.3.2	Determinação da concentração dos elementos nas amostras de sedimento.....	22
3.3.2.1	Tratamento das amostras de sedimentos .....	23
3.3.2.2	Determinação da concentração dos elementos .....	23
<b>4</b>	<b>VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE FOLHAS DE <i>AVICENNIA SCHAUERIANA</i> E SUAS RELAÇÕES COM OS SEDIMENTOS DE ENTORNO DE SUAS RAÍZES NO MANGUEZAL DO RIO UNA, SUL DA BAHIA</b> .....	<b>25</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.4	CONCLUSÕES .....	36
4.5	AGRADECIMENTOS .....	37

4.6	REFERÊNCIAS.....	37
<b>5</b>	<b>DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS EM ZONAS DE MANGUEZAL DO RIO JEQUITINHONHA NO SUL DA BAHIA ATRAVÉS DE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA .....</b>	<b>40</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	40
5.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.4	CONCLUSÕES .....	47
5.5	AGRADECIMENTO .....	48
5.6	REFERÊNCIAS.....	48
<b>6</b>	<b>UTILIZAÇÃO DE FOLHAS DE <i>AVICENNIA SCHAUERIANA</i> COMO INDICADORAS DA QUALIDADE AMBIENTAL DE ZONAS DE MANGUEZAL ADJACENTES AO RIO PARDO, COSTA SUL DA BAHIA .....</b>	<b>51</b>
6.1	INTRODUÇÃO .....	51
6.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
6.4	CONCLUSÕES .....	59
6.5	AGRADECIMENTOS .....	60
6.6	REFERÊNCIAS.....	60
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>64</b>
7.1	RECOMENDAÇÕES .....	64
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>
	<b>Apêndice I</b> – Tabelas das concentrações médias por manguezal dos elementos químicos determinados nas folhas .....	<b>71</b>
	<b>Apêndice II</b> – Tabelas das concentrações médias por manguezal dos elementos químicos determinados no sedimento .....	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

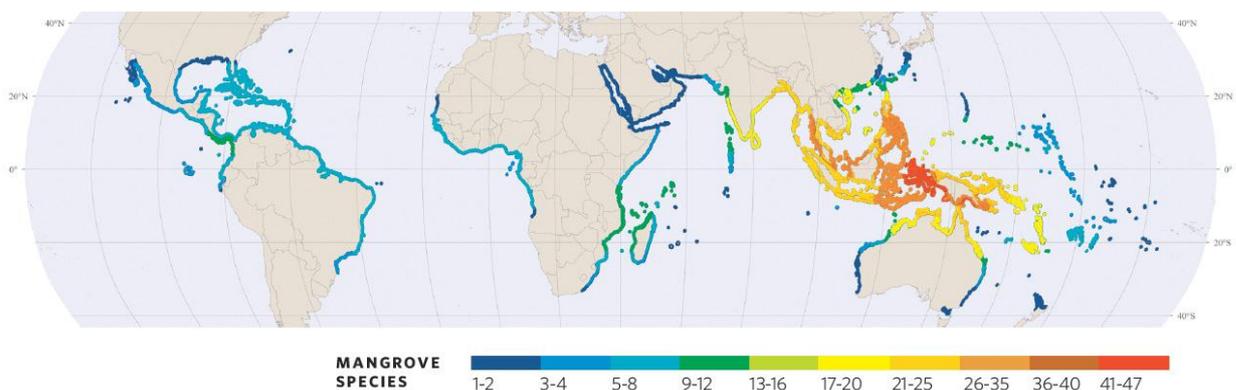
Os manguezais são ecossistemas que abrangem áreas entre 160.000 e 200.000 km<sup>2</sup> ao longo de mais de 70% dos litorais tropicais e subtropicais (MARCHAND et al., 2012; SCHAEFFER-NOVELI, 1995).

Estes ambientes são constituídos com cerca de 80 espécies em todo o mundo a partir de 20 famílias de plantas vasculares (TOMLINSON, 1986). Este ecossistema é extremamente rico em biodiversidade, e representa um habitat para muitas espécies (NAGELKERKEN et al., 2008).

As regiões litorâneas que apresentam maior riqueza de espécies encontram-se na Oceania entre os países do Japão e Austrália (Figura 1). As florestas de manguezal estão entre os ecossistemas terrestres mais produtivos, funcionando como um enorme aporte de alimentos para as comunidades locais de fauna e cadeias alimentares costeiras (BOUILLON et al., 1999; KRISTENSEN et al., 2008).

No entanto, o crescimento demográfico, o aumento da urbanização, a expansão das atividades industriais e a exploração dos recursos naturais, têm contribuído diretamente para que os manguezais estejam desaparecendo em um ritmo alarmante (DUKE et al., 2007).

**Figura 1** – Distribuição de espécies de manguezais no mundo



Fonte: BORREL (2010)

Devido à sua persistência, toxicidade potencial e biodisponibilidade, os metais pesados representam uma grande ameaça para a biodiversidade dos ecossistemas de manguezais e também para a saúde humana. Além disso, a sua origem antropogênica, como por exemplo, atividades de mineração e indústrias, juntamente com os processos naturais, como intemperismo geológico de solos e rochas,

augmentam a sua ocorrência, pois os metais pesados são transportados pela água ou pelo vento para zonas costeiras, onde podem ser depositados como sedimentos (MARCHAND et al., 2012).

Devido a capacidade dos ambientes de manguezal terem uma forma eficiente de interceptar o material em suspensão a partir da coluna de água (FURUKAWA et al., 1997), e a elevada afinidade de matéria orgânica (MO) para os metais pesados (NISSENBAUM; SWAINE, 1976), os sedimentos de manguezal têm uma grande susceptibilidade para acumular estes poluentes (LACERDA et al., 1988; TAM; WONG, 2000).

Com base nessas características, os manguezais são reconhecidos como barreira biogeoquímica ao trânsito de metais pesados e sua comunidade vegetal representa um importante papel na circulação desses elementos (BERNINI et al., 2006). As suas folhas correspondem à maior parte da produção primária neste ecossistema, além de serem as principais constituintes da serrapilheira e recurso alimentar para insetos e caranguejos arborícolas (SILVA et al., 2010a).

## 1.1 O ECOSISTEMA MANGUEZAL

Ecossistemas de manguezais são altamente produtivos e desempenham um papel vital como um grande produtor primário em sistemas estuarinos (KUMAR, 2011). São reconhecidos, também, por apresentarem características singulares na sua dinâmica biogeoquímica e sustentação socioeconômica de regiões costeiras tropicais (RODRIGUES, 2005), uma vez que fornecem muitos benefícios para os ambientes adjacentes e para a população humana (PASSARELI, 2011).

Os manguezais são constituídos por espécies vegetais típicas, denominadas de mangues, os quais se encontram associados a outros organismos vegetais e animais, que por sua vez vivem em um substrato periodicamente inundado pelo fenômeno das marés, com grande variação de salinidade (SCHAEFFER-NOVELI, 1995).

O substrato deste ecossistema possui em geral coloração acinzentada, consistência lodosa e movediça por conter partículas muito finas de matéria orgânica em decomposição. A matéria orgânica acumulada no sedimento de manguezal pode ser exportada para sistemas costeiros como fonte de nutrientes para a cadeia

alimentar e, ao mesmo tempo, auxiliar no equilíbrio físico-químico deste ambiente (LACERDA et al., 1985; ARAÚJO, 2000).

O Brasil possui uma das maiores extensões de manguezais do mundo nos quais são encontradas seis espécies verdadeiras de manguezal: *Avicennia germinans* Linnaeus 1764, *Avicennia schaueriana* Stapft & Lechman 1939, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F. 1807, *Rhizophora harrisonii* Leechman 1918, *Rhizophora mangle* Linnaeus 1753 e *Rhizophora racemosa* G. Meyer & Lechman 1918 (SCHAEFFER-NOVELLI; CITRÓN, 1986; SCHAEFFER-NOVELLI, 1987).

O estado da Bahia apresenta um grande número de estuários, os quais se encontram num litoral que se estende por aproximadamente 1.180 km representando 13,2% da costa brasileira, cujas bordas caracterizam-se pela formação de mangues arbóreos, no qual residem numerosas espécies de elevada relevância sócio-econômica. Dentre estas regiões estuarinas, destacam-se a Baía de Todos os Santos e a Baía de Camamu (LOPES et al., 1998; ALBAGLI; FIGUEREDO, 2011).

Segundo Rodrigues (2005), apesar das inúmeras pesquisas realizadas, considera-se que pouco se conhece sobre a imensa área de manguezal distribuída nas zonas litorâneas do Estado. Os maiores bosques estão localizados entre os municípios de Valença e Maraú, e nos municípios de Canavieiras e Caravelas. No norte da Bahia e na região do Recôncavo existem cerca de 10.000 hectares de manguezais, sendo que de Valença a Mucuri a área estimada é de 70.000 hectares, com destaque para os bosques existentes na baía de Camamu, Canavieiras e Nova Viçosa (GAIÃO, 2007).

#### 1.1.1 *Rhizophora mangle* Linnaeus (1753)

A *Rhizophora mangle* Linnaeus (1753), pertencente à família *Rhizophoriaceae*, é popularmente conhecida como mangue vermelho (Figura 2). Possui características em comum a outras espécies, tais como, troncos de casca lisa e clara, sendo a parte interna de cor avermelhada, e de sistema radicular contendo estrutura caulinar que saem do tronco e dos ramos e, ao atingirem o solo, ramificam-se proporcionando uma melhor sustentação no sedimento lamoso (RAMOS, 2005).

**Figura 2** – Aspectos morfológicos de *Rhizophora mangle* Linnaeus (1753)  
A - folhas; B - flores; C - fruto; D - propágulo



Fonte: VIEIRA, 2013, modificado.

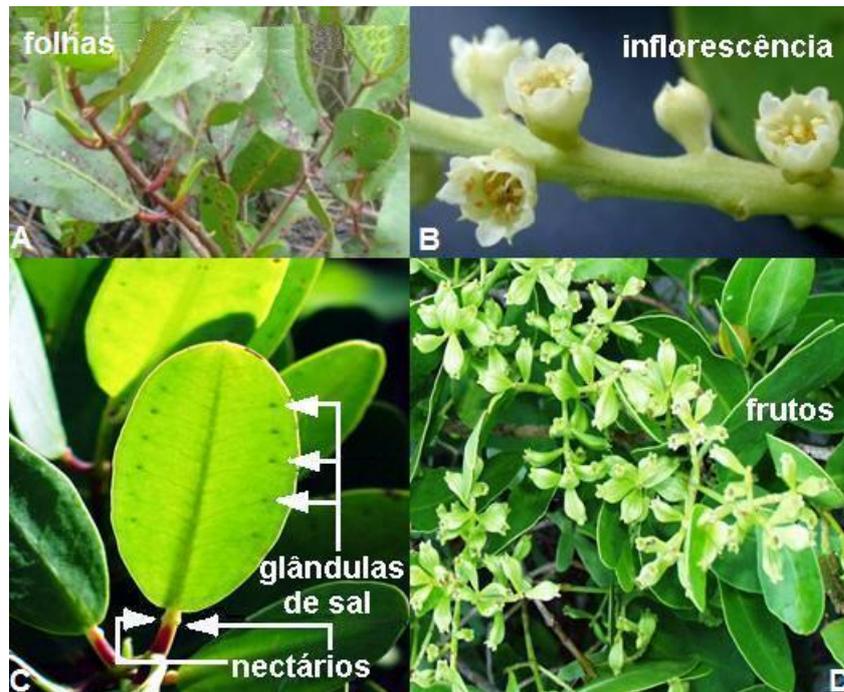
Além disso, é uma espécie predominantemente neotropical, ocupando um gradiente de baixa maré com alta insolação, até margens de alta maré sombreadas (SILVA et al., 2010a).

Suas adaptações vão desde viver em solos com valores de pH elevados, alta relação de carbono/nitrogênio, a elevados teores de enxofre oxidável, desenvolvendo-se melhor em solos siltosos rasos, inundados por água salobra (ANDRADE, 2011; VIDALL-TORRADO et al., 2005).

#### 1.1.2 *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F. (1807)

A *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F. 1807 (*Combretaceae*), conhecida popularmente como mangue branco, manso ou tinteira, é uma árvore relativamente pequena, cujas folhas têm pecíolo vermelho com duas glândulas em sua parte superior, próximas à lamina foliar (Figura 3). As folhas são espessas e variam de elíptica a oblonga, apresentando margem lisa (SILVA et al., 2010b).

**Figura 3** – Aspectos morfológicos de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F. (1807)  
A - folhas; B - inflorescência; C - glândulas de sal; D - frutos



Fonte: VIEIRA, 2013, modificado.

Possui ainda características diferenciadas como pequeno porte e pneumatóforos menos desenvolvidos, tanto em número quanto em altura (SCHAEFFER-NOVELLI; CINTRÓN, 1986; RAMOS, 2005).

#### 1.1.3 *Avicennia schaueriana* Stapft & Lechman (1939)

A *Avicennia schaueriana* Stapft & Lechman 1939 (*Avicenniaceae*), a qual apresenta nome vulgar de “siriúba” ou mangue preto (Figura 4A), caracteriza-se como uma árvore com casca lisa, de cor castanho-claro, e folhas levemente aveludadas por baixo devido à presença de tricomas e coloração verde clara (Figura 4D), com ápice arredondado, segundo Tomlinson (1986).

Este mesmo autor observou que as raízes apresentam estruturas de pneumatóforos (finos e longos, atingindo até 20 cm), os quais auxiliam na oxigenação (Figura 4B). É encontrada desde as Guianas até o Uruguai (GARCIA, 2005; TOMLINSON, 1986).

**Figura 4** – Aspectos morfológicos de *Avicennia schaueriana* Stapft & Lechman (1939)  
A – árvore; B – pneumatóforos; C – inflorescência; D – folhas e frutos



Fonte: VIEIRA, 2013, modificado.

De acordo com Schaeffer-Novelli (1995) é o gênero mais tolerante a presença de sais e sua reprodução se dá por viviparidade. A altura dos bosques maduros varia de 6 a 25 metros. O sistema radicular é bastante ramificado e distribui-se horizontalmente no sedimento, não ultrapassando os 50 cm de profundidade. Dessas raízes saem ramificações que crescem eretas (gravitropismo negativo), são os chamados pneumatóforos, que apresentam consistência esponjosa e têm função destacada no processo das trocas gasosas entre a planta e o meio (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

O objetivo deste trabalho é caracterizar biogeoquimicamente folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman (1939) e de *Avicennia germinans* Linnaeus (1764) em áreas de manguezal localizadas nos estuários dos rios de Una, Pardo e Jequitinhonha, localizados no litoral sul da Bahia.

### 2.2 Específicos

- Determinar a concentração dos elementos químicos (Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, V, Zn) nas folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman (1939) e *Avicennia germinans* Linnaeus (1764);
- Verificar se ocorreram diferenças significativas quanto à distribuição espacial e temporal dos elementos químicos determinados em duas campanhas;
- Avaliar as inter-relações dos parâmetros não conservativos com os teores dos elementos químicos determinados para verificar possíveis correlações significativas que justifiquem a sua distribuição na região de estudo;
- Determinar o fator de concentração dos elementos químicos nos tecidos foliares e sedimento de entorno das árvores para realizar uma comparação com trabalhos já publicados e que possuam características semelhantes à região de estudo.

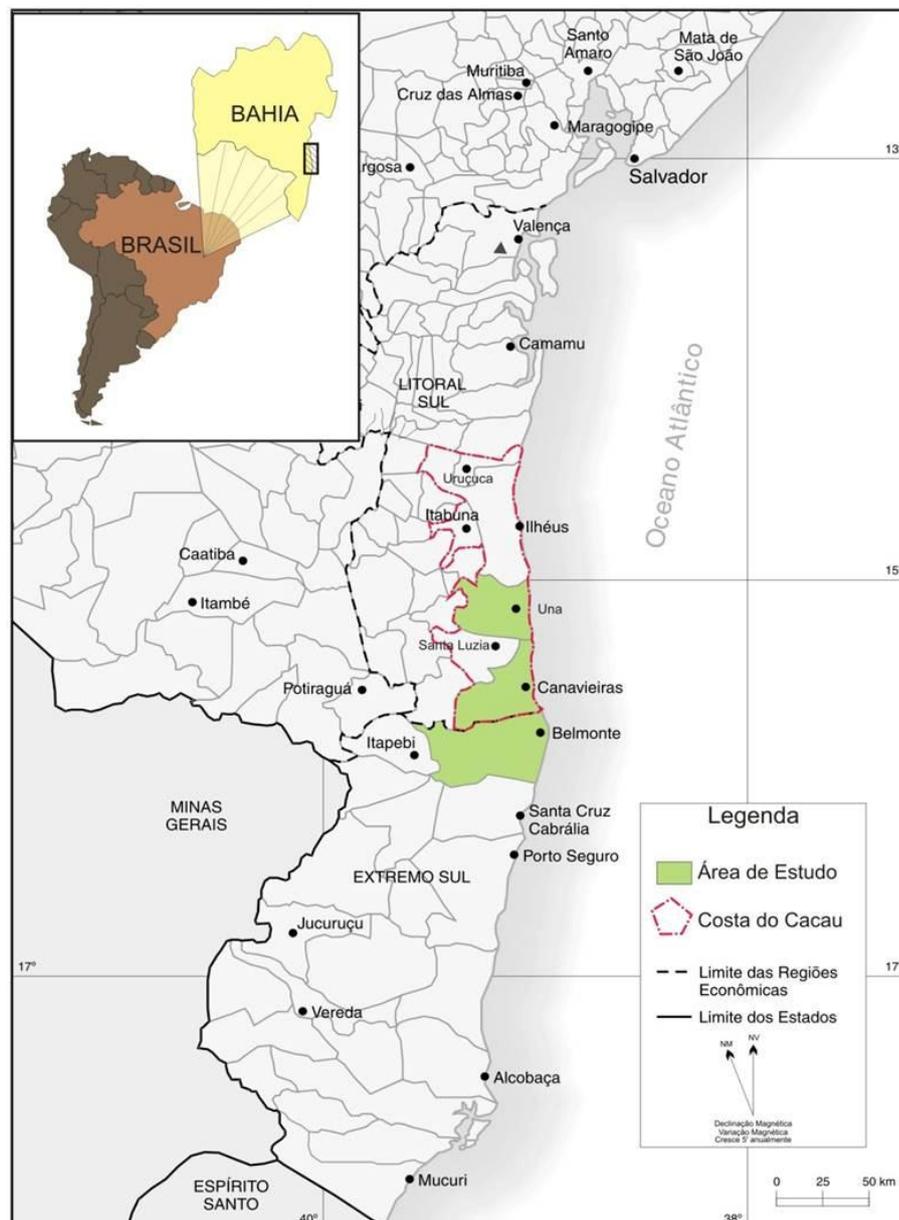
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão descritos a área de localização, o procedimento de coleta de campo e análises laboratoriais, além do tratamento estatístico utilizado neste trabalho.

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo deste trabalho compreende as zonas de manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha pertencentes aos municípios de Una, Canavieiras e Belmonte, respectivamente, e localizados na região litoral sul do Estado da Bahia (Figura 5).

**Figura 5** – Mapa de localização dos Municípios de Una, Canavieiras e Belmonte



## 3.2 AMOSTRAGEM

A seguir estão descritos os procedimentos de amostragem.

### 3.2.1 Folhas

A metodologia de amostragem consistiu em coletas de folhas, de forma manual direta, de árvores do gênero *Avicennia* na extensão dos manguezais de estudo, durante dois períodos (primeira campanha em novembro de 2011 e a segunda campanha, em abril de 2012).

O procedimento de coleta consistiu na retirada de 15 folhas a partir do terceiro nó, para cada três árvores, selecionadas aleatoriamente, resultando em 45 unidades por ponto. Ao total foram seis pontos amostrais por campanha.

A aferição dos parâmetros não conservativos, pH e Eh na água intersticial do sedimento na região das raízes das árvores foi realizada durante as duas campanhas.

### 3.2.2 Sedimento

O substrato lamoso superficial foi coletado a uma profundidade de até 20 cm no entorno das raízes das árvores do gênero *Avicennia*, por meio de uma malha amostral de cinco pontos espaçados em torno de 0,5 m um do outro e ao redor de cada árvore. Em seguida, o material recolhido foi homogeneizado numa bandeja plástica, e finalmente foi retirada uma amostra composta de aproximadamente 500g.

### 3.2.3 Armazenamento

As folhas e as amostras de sedimento recolhidas foram então armazenadas em sacos plásticos e frascos de vidro, etiquetados. Em sequência, as embalagens contendo as amostras foram transferidas para caixas térmicas contendo gelo para conservação e acondicionamento até chegarem ao Laboratório de Estudos do Petróleo (LEPETRO) do Núcleo de Estudos Ambientais (NEA/IGEO/UFBA), onde foram mantidas congeladas a uma temperatura de -40°C em freezer até o momento da realização das análises.

## 3.3 ANÁLISES DE LABORATÓRIO

Neste item estão descritos os procedimentos laboratoriais.

### 3.3.1 Determinação da concentração dos elementos nas Folhas

Após liofilização, as amostras foram trituradas em liquidificador por três minutos, para a obtenção de partículas menores e homogêneas, e posteriormente, armazenadas em sacos plásticos previamente identificados até análise.

**Tabela 1** – Programação do forno de microondas para extração dos metais em folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman e a *Avicennia germinans* Linnaeus dos manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha

ETAPAS	TEMPO	POTENCIA (Watts)
1 <sup>a</sup>	5	200
2 <sup>a</sup>	5	0
3 <sup>a</sup>	5	500
4 <sup>a</sup>	10	630
5 <sup>a</sup>	5	500

A etapa seguinte de tratamento das amostras envolveu um procedimento de digestão ácida assistida por microondas conforme programação indicada na Tabela 1, com cavidade marca Provecto, modelo DGT 100 plus.

**Tabela 2** – Características de operação do equipamento para determinação dos elementos químicos nas folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman, *Avicennia germinans* Linnaeus e sedimentos dos manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha

Dados	Características	
	Folhas	Sedimentos
Potência	1300 W	Axial
Vazão do plasma	15,0 L min <sup>-1</sup>	1300 W
Vazão do gás auxiliar	1,5 L min <sup>-1</sup>	15,0 L min <sup>-1</sup>
Vazão do nebulizador	0,7 L min <sup>-1</sup>	1,5 L min <sup>-1</sup>
Vazão da amostra	0,8 L min <sup>-1</sup>	0,8 L min <sup>-1</sup>
Sistema de nebulização	V-Groove com câmara de spray de PTFE Sturman-Masters	V-Groove com câmara de spray de PTFE Sturman-Masters
Linhas Espectrais Seleccionadas	Ca – 317,933 nm Fe – 238.204 nm K – 769,897 nm Mg – 279,553 nm Mn – 257.610 nm Na – 589,592 nm P – 214,914 nm Zn – 213.857 nm	Pb – 220.353 nm Zn – 213.857 nm Cr – 206.158 nm Cu – 327.395 nm Cd – 226.502 nm Mn – 257.610 nm Fe – 238.204 nm Ba – 455.403 nm V – 311.837 nm Ni – 230.299 nm

Para tanto, pesou-se uma massa de 0,5g da amostra à qual foram adicionados 5 mL de ácido nítrico concentrado e 2 mL de peróxido de oxigênio.

Após o processo de digestão ácida, os teores dos microelementos (Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn, Cd, Pb e V) e macroelementos (Ca, K, Mg, Na, P) do tecido foliar foram determinados segundo metodologia ASTM (1992). As condições de operação do equipamento estão dispostas na Tabela 2.

A exatidão do método foi verificada mediante análise de material de referência certificado de folhas de maçã fornecido pelo *Nacional Institute of Standards and Technology, Apple Leaves - 1515* cujos resultados encontram-se na Tabela 3. Com exceção do cádmio (Cd), os elementos apresentaram de 75 a 116% de recuperação.

Os valores das concentrações certificadas e os limites de detecção do método encontram-se na Tabela 3. Estes parâmetros foram calculados com o desvio padrão do branco analítico das amostras (10 replicatas para cada campanha) multiplicado por 3, assim como, os limites de quantificação.

**Tabela 3** – Resultados da análise do CRM NIST 1515 para folhas de maçã através do método proposto

ANALITO	VALOR OBTIDO (mg kg <sup>-1</sup> )	VALOR CERTIFICADO (mg kg <sup>-1</sup> )	RECUPERAÇÃO (%)	LD (mg.kg <sup>-1</sup> )	LQ (mg.kg <sup>-1</sup> )
Cd	0,022 ± 0,008	0,013 ± 0,002	59,1	0,00095	0,00315
Cr	0,4 ± 0,1	0,3*	75	0,01632	0,0544
Cu	4,84 ± 0,77	5,64 ± 0,24	116,5	0,00336	0,01121
Fe	74 ± 13	83 ± 5	112,2	0,02586	0,0862
Mn	49 ± 2	54 ± 3	110,2	0,00111	0,00369
Ni	1,05 ± 0,24	0,91 ± 0,12	86,7	0,00415	0,01385
V	0,31 ± 0,10	0,26 ± 0,03	83,9	0,00161	0,00536
Zn	12,0 ± 2,5	12,5 ± 0,3	104,2	0,00651	0,02169

\*valor não certificado (estimado); LD: limite de detecção; LQ: limite de quantificação.

### 3.3.2 Determinação da concentração dos elementos nas amostras de sedimento

Neste estudo foram aproveitados os resultados obtidos por CRUZ, (2013) referentes às amostras de sedimento de superfície que foram coletadas nos mesmos pontos das campanhas realizadas para as folhas neste trabalho.

Destaca-se também que os dados *in situ* dos parâmetros físico-químicos foram obtidos com o auxílio de uma sonda multiparamétrica de marca Horiba pH/COND METER, modelo D-54, em água intersticial do sedimento, adjacente ao local de amostragem. A seguir foram descritos resumidamente os procedimentos utilizados para o tratamento das amostras dessa matriz.

### 3.3.2.1 Tratamento das amostras de sedimentos

As amostras de sedimento também foram liofilizadas. Após liofilização as amostras apresentaram textura seca e então foram desagregadas, homogeneizadas e peneiradas para obtenção de uma fração <2mm. Após a homogeneização e quarteamento, as amostras foram encaminhadas para análise.

### 3.3.2.2 Determinação da concentração dos elementos

A determinação dos metais Pb, Zn, Cr, Cu, Cd, Mn, Fe, V, Ni e P foi realizada no LEPETRO, utilizando-se a técnica de extração parcial com ácido nítrico (HNO<sub>3</sub> 1:1) em forno microondas, segundo a metodologia ASTM (1992).

A programação do forno de microondas marca Provector, modelo DGT 100 plus, seguiu a metodologia adaptada do manual do equipamento (número 13).

**Tabela 4** – Programação do forno de microondas para extração dos metais nos sedimentos dos manguezais dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha

ETAPAS	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>
TEMPO (minutos)	3	1	1	4	4
POTENCIA (Watts)	400	790	0	400	0

A amostra de sedimento (cerca de 1g) foi pesada num vaso do sistema de digestão de Teflon. Adicionou-se em seguida 10 mL de ácido nítrico concentrado P. A. e 10 mL de água deionizada. Procedeu-se o descanso do sistema por 30 min. Em seguida, os vasos foram fechados e pesados novamente. E finalmente, o sistema foi posto no equipamento de microondas segundo a programação descrita na Tabela 4.

Após a extração, as amostras foram passadas em filtro quantitativo (0,80µm), avolumados em balão volumétrico de 50 mL e armazenadas em frascos plásticos de 50 mL para posterior determinação dos teores dos elementos químicos também por Espectrometria de Emissão Óptica com Pasma Indutivamente Acoplado (ICP OES).

Foram realizadas análises em triplicata, além da utilização da prova em branco e do padrão de referência internacional “STSD-4” (*Stream Sediment Samples*).

Para o processo de abertura das amostras, o controle de qualidade foi satisfatório, pois atingiu de 92 – 114,3% de recuperação dos teores (Tabela 5) em

relação ao padrão de referência STSD-4 para os elementos das amostras. As configurações do equipamento ICP OES para determinação dos elementos químicos no sedimento encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 5** – Resultado da abertura, em forno de microondas, de amostras de material certificado de referência de sedimentos dos rios Una, Pardo e Jequitinhonha

Elemento	Mn	Fe	Cu	Zn	Ni	Cd	V
Padrão STSD-4	18,5	205,8	71,6	1424	1,04	2,48	0,577
Padrão (média do valor encontrado)	18	191,5	69,5	1408	0,91	2,34	0,627
Recuperação (%)	102,7	107,4	103	101	114,3	105	92

As análises estatísticas foram realizadas nos programas Bioestat v.5.3, Excel 2003 e Statistica v.8.0 e consistiram em cálculos de coeficientes de variação, desvio padrão, erro-padrão e médias das concentrações dos elementos, assim como, foram aplicados testes de Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov & Lilliefors, Tukey, Wilcoxon-Mann-Whitney, testes de correlação e Análise dos Componentes Principais (PCA). E os dados utilizados para estes tratamentos estatísticos referentes as folhas e sedimentos deste trabalho estão disponíveis nos **Apêndices I e II**.

#### 4 VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE FOLHAS DE *Avicennia schaueriana* E SUAS RELAÇÕES COM OS SEDIMENTOS DE ENTORNO DE SUAS RAÍZES NO MANGUEZAL DO RIO UNA, SUL DA BAHIA

**Resumo:** Neste estudo foi avaliada a distribuição de elementos químicos em função da composição química de folhas de manguezal da espécie *Avicennia schaueriana* e sedimentos de entorno. A pesquisa foi realizada em duas campanhas no município de Una, sul da Bahia. Foram coletadas 15 unidades de folhas por árvore e os parâmetros não conservativos foram aferidos na água intersticial do sedimento de suas raízes. As amostras foram submetidas à digestão ácida e, posteriormente, os metais Cd, Fe, Mn, Ni, V e Zn foram determinados por ICP OES. As maiores concentrações dos analitos determinados nas amostras de folhas foram encontradas na segunda campanha, com valores de Eh indicando ambiente redutor, e os de pH, como levemente ácido. Este comportamento pode ser justificado pela forte influência do movimento das marés, o qual favoreceu a solubilização dos elementos e a sua disponibilização à cadeia trófica. Entretanto, as concentrações médias dos elementos Cd ( $<0,01 \text{ mg Kg}^{-1}$ ), Fe ( $138,33 \text{ mg Kg}^{-1}$ ), Mn ( $137,74 \text{ mg Kg}^{-1}$ ), Ni ( $<0,02 \text{ mg Kg}^{-1}$ ), V ( $<0,01 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) e Zn ( $10,53 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) encontram-se fora dos limites considerados tóxicos à espécies vegetais.

**Palavras-chave:** Folhas, *Avicennia*, manguezal, quimiometria.

##### 4.1 INTRODUÇÃO

O ecossistema de manguezal é altamente produtivo e desempenha um papel vital como um grande produtor primário em sistemas estuarinos (KUMAR, 2011).

Estes ambientes são também reconhecidos, por apresentarem características singulares na sua dinâmica biogeoquímica e sustentação socioeconômica de regiões costeiras tropicais (RODRIGUES, 2005), uma vez que fornecem muitos benefícios para os ambientes adjacentes e para a população humana (PASSARELI, 2011).

Entretanto, diversos fatores ameaçam as florestas de manguezal, dentre eles as principais fontes estão vinculadas a atividades antrópicas, as quais incluem a instalação de portos marítimos e represas (AGORAMOORTHY et al., 2008), transporte de navios de produtos químicos e de petróleo que oferecem risco de poluição por metais pesados em áreas costeiras (KESHAVARZ et al., 2012), e além disso, o constante crescimento do contingente populacional que gera, também, fonte de contaminação através dos efluentes domésticos (WONG; TAM, 1997).

As folhas correspondem à maior parte da produção primária em ecossistemas de manguezais, além de serem as principais constituintes da serrapilheira e alimento para insetos e caranguejos arborícolas (SILVA e al., 2010).

É importante destacar também que as folhas sofrem decomposição proveniente das condições edafoclimáticas do ambiente e pela ação de microorganismos, transformando-se em nutrientes, os quais serão translocados por diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar. Do mesmo modo que também são consideradas como os órgãos que melhor refletem o estado nutricional dos vegetais, apresentando, portanto, um relevante papel na circulação desses elementos (BERNINI et al., 2006; MALAVOLTA et al., 1997).

Na literatura é encontrado que espécies do gênero *Avicennia* apresentam maior tolerância e propriedades acumuladoras para numerosos metais quando comparadas a outras espécies de manguezal (THOMAS; EONG, 1984; PENG et al., 1997; MACFARLANE; BURCHETT, 2002).

A partir deste contexto, destaca-se que estudos voltados para a composição química de folhas de árvores da espécie *Avicennia schaueriana* são essenciais para o entendimento da dinâmica de elementos químicos em ambientes de manguezal.

Para tanto, este trabalho apresenta um estudo da distribuição de elementos químicos em função da composição química das folhas e com base em ferramentas estatísticas e expõe uma avaliação espaço – temporal da concentração dos elementos determinados.

## 4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do presente trabalho consistiu em coletas de amostras de folhas da espécie *Avicennia schaueriana* Stapft & Lechman (1939) e sedimentos na extensão do manguezal do rio Una (Figura 6), durante dois períodos, sendo que a primeira campanha foi realizada em novembro de 2011, e a segunda campanha em abril de 2012.

Além disso, os parâmetros não conservativos, pH e Eh, foram mensurados *in situ* na água intersticial do sedimento de entorno das raízes das árvores.

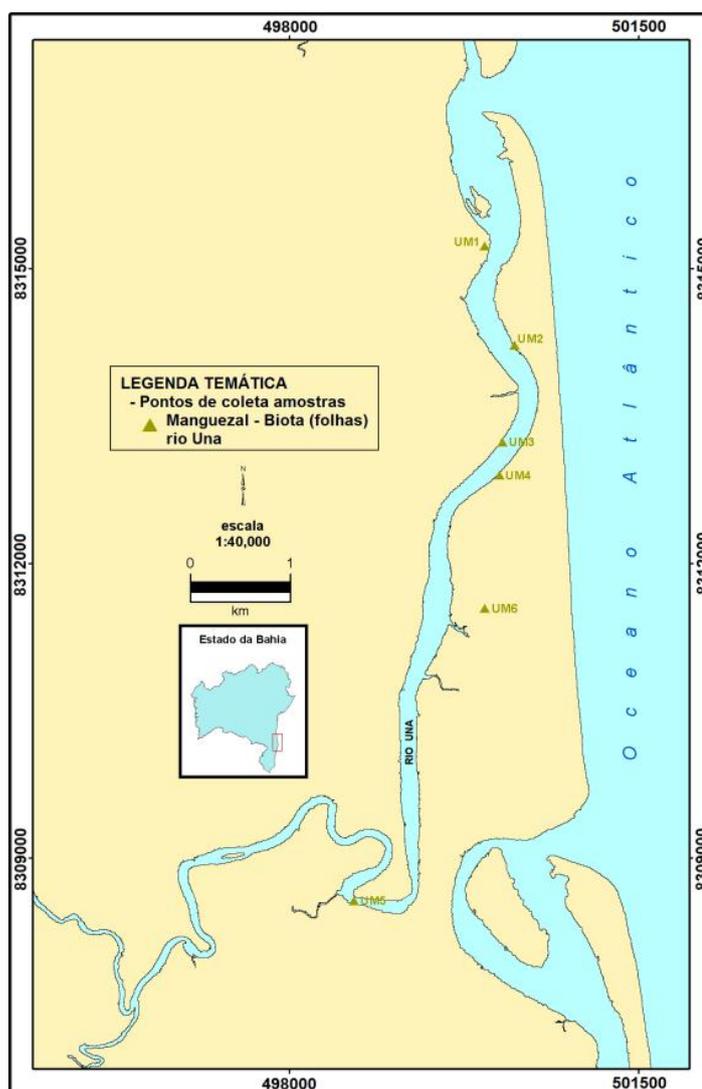
O procedimento de coleta consistiu na retirada de 15 folhas verdes a partir do terceiro ramo para cada três árvores selecionadas aleatoriamente (triplicata de campo) resultando em 45 unidades por ponto. Ao total foram seis pontos de coleta e

18 amostras por campanha. As folhas recolhidas foram então armazenadas em sacos plásticos previamente etiquetados.

O substrato lamoso superficial foi coletado dentro de uma malha amostral de cinco pontos no entorno das raízes das árvores de *Avicennia*, as quais foram extraídas as folhas, numa profundidade de 20 cm. Depois de homogêneas, as amostras compostas de sedimentos (500g) foram armazenadas em frascos de vidro.

Em sequência, as amostras de folhas e sedimentos foram transferidas para caixas térmicas contendo gelo para conservação e acondicionamento até chegarem ao Laboratório de Estudos do Petróleo (LEPETRO) do Núcleo de Estudos Ambientais (NEA/IGEO/UFBA). Em seguida, foram mantidas congeladas a uma temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  em freezer até o momento da realização das análises.

**Figura 6** – Pontos de amostragem na região de manguezal do rio Una, sul da Bahia. Coordenadas em metros (UTM, WGS84)



Posteriormente, as amostras das duas matrizes foram liofilizadas. Para as folhas, pesou-se uma massa de 0,5g das amostras as quais foram submetidas à digestão ácida em forno de microondas com adição de 5 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) concentrado na proporção de 1:1 e 2 mL de peróxido de oxigênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) conforme metodologia ASTM (1992). E para o sedimento, a quantidade de amostra foi de 1g e foi seguido o mesmo procedimento para as folhas, sendo utilizados 10 mL de  $\text{HNO}_3$ .

Os analitos (Cd, Fe, Mn, Ni, V e Zn) foram quantificados por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) utilizando-se o material de referência certificado de folhas de maçã “*Apple Leaves*” – NIST 1515, cujos resultados apresentaram controle de qualidade satisfatório entre 104,2% a 112,2% de recuperação. O padrão de referência internacional “STSD-4” (*Stream Sediment Samples*) foi utilizado para as amostras de sedimento, que também apresentaram controle de qualidade satisfatório variando de 92% a 114% de recuperação dos teores.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa Statistica v.8.0. A homogeneidade dos dados foi verificada através dos cálculos de coeficientes de variação (CV), e para a normalidade foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk. As diferenças significativas quanto à distribuição dos elementos de forma espacial foi realizada através do teste de Tukey e de forma temporal através do teste t. Além disso, foi aplicada a técnica de análise de componentes principais (PCA). O nível de significância adotado foi de 5% com base em Callegari-Jacques (2003).

#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

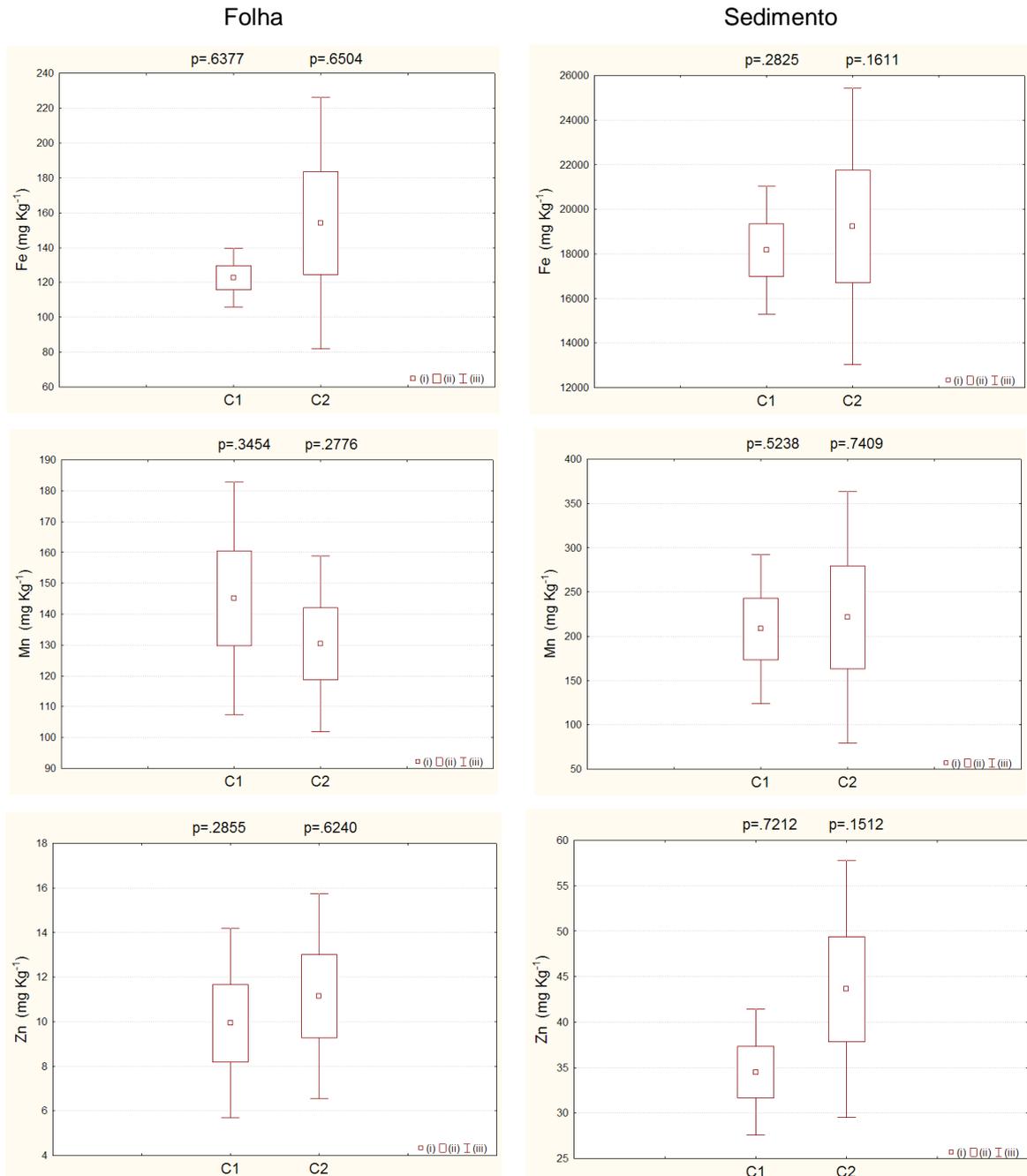
Os resultados analíticos encontrados para o Cd, Ni e V ficaram abaixo do limite de quantificação do ICP OES ( $<0,01$ ,  $<0,02$  e  $<0,01 \text{ mg Kg}^{-1}$  respectivamente). Portanto, esses elementos não apresentaram risco ao ambiente de estudo. Assim sendo, não ofereceram risco ao ambiente de estudo. Desta forma, dos seis metais analisados apenas Fe, Zn e Mn apresentaram concentrações passíveis de avaliação quanto à distribuição entre estações, campanhas realizadas e variáveis ambientais.

A homogeneidade e a normalidade dos dados foram confirmadas através do cálculo do coeficiente de variação ( $\text{CV}<50\%$ ) (Tabela 8) e do teste de Shapiro-Wilk ( $p>0,05$ ) (Figura 7).

Na Figura 7 encontram-se os gráficos de Box & Whiskers Plot referentes ao manguezal do rio Una das concentrações médias dos elementos químicos Fe, Mn e

Zn determinados nas folhas de *A. schaueriana* e sedimentos, os quais projetados com o auxílio do programa Statistica v.8.0 para análise do desvio-padrão e erro-padrão dos dados por campanha realizada.

**Figura 7** – Box & Whiskers Plot e Teste de Shapiro-Wilk para as concentrações médias dos elementos Fe, Mn e Zn ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ) em folhas de *Avicennia schaueriana* do manguezal do rio Una – BA



**Legenda:** C1 = 1ª campanha; C2 = 2ª campanha; p = Teste de SW; (i) = Média; (ii) = Média + Erro-padrão; (iii) = Média + Desvio-padrão.

Os maiores valores médios dos teores encontrados para Fe e Zn nas folhas ocorreram na segunda campanha, enquanto que para o Mn, o maior valor ocorreu no primeiro período. O teor médio dos elementos nas folhas das árvores de *Avicennia schaueriana* aumentou de acordo com a seguinte ordem crescente Zn<Mn<Fe. Já os teores médios determinados de Fe, Mn e Zn nos sedimentos apresentaram maiores valores na segunda campanha e ordem crescente de concentração semelhante às encontradas nas folhas.

O teste de Tukey foi aplicado para verificar se ocorreu diferença significativa quanto à distribuição espacial (entre estações). Este procedimento de análise de dados é um complemento à ANOVA (análise da variância) e visa identificar quais as médias que tomadas duas a duas, diferem significativamente entre si (CALLEGARI-JACQUES, 2003). E para verificar se ocorreu diferença significativa entre campanhas foi aplicado o teste *t*. O programa utilizado para aplicação dos referidos testes foi o BioEstat v.5.3. Os resultados dos referidos testes encontram-se na Tabela 6.

Com relação à distribuição espacial, os resultados demonstraram não haver diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre estações, o que pode significar uma distribuição bastante homogênea ao longo dos seis pontos de coleta na extensão do manguezal com base na composição química das folhas de *A. schaueriana* e sedimentos de entorno. Também não foram encontradas diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ) entre os períodos de coleta, as quais ocorreram entre novembro de 2011 e abril de 2012, e pode ser justificado devido à similaridade do regime pluviométrico registrado nestes períodos.

**Tabela 6** – Avaliação espaço-temporal das concentrações dos elementos químicos determinados em folhas de *A. schaueriana* e sedimentos de entorno de suas raízes no manguezal do rio Una

	Teste de Tukey		Teste <i>t</i>	
	Dados	<i>p</i> (valor)	Dados	<i>p</i> (valor)
Folha	Fe	0,217	Fe-C1 vs. Fe-C2	$p=0.254$
	Mn	0,298	Mn-C1 vs. Mn-C2	$p=0.420$
	Zn	0,477	Zn-C1 vs. Zn-C2	$p=0.651$
Sedimento	Zn	0,361	Fe-C1 vs. Fe-C2	$p=0.648$
	Mn	0,088	Mn-C1 vs. Mn-C2	$p=0.773$
	Fe	0,188	Zn-C1 vs. Zn-C2	$p=0.181$

Legenda: C1 = primeira campanha; C2 = segunda campanha.

As concentrações dos elementos químicos determinados nas folhas e nos sedimentos apresentaram uma distribuição normal e elevada homogeneidade dos dados. E devido a estes resultados, aplicou-se o teste de correlação de *Pearson* (*r*) para identificar a existência de possíveis associações entre estes grupos, como pode ser visualizado na Tabela 7.

**Tabela 7** – Teste de correlação entre as concentrações dos elementos químicos determinados nas folhas de *Avicennia schaueriana* e sedimentos de entorno, do manguezal do rio Una

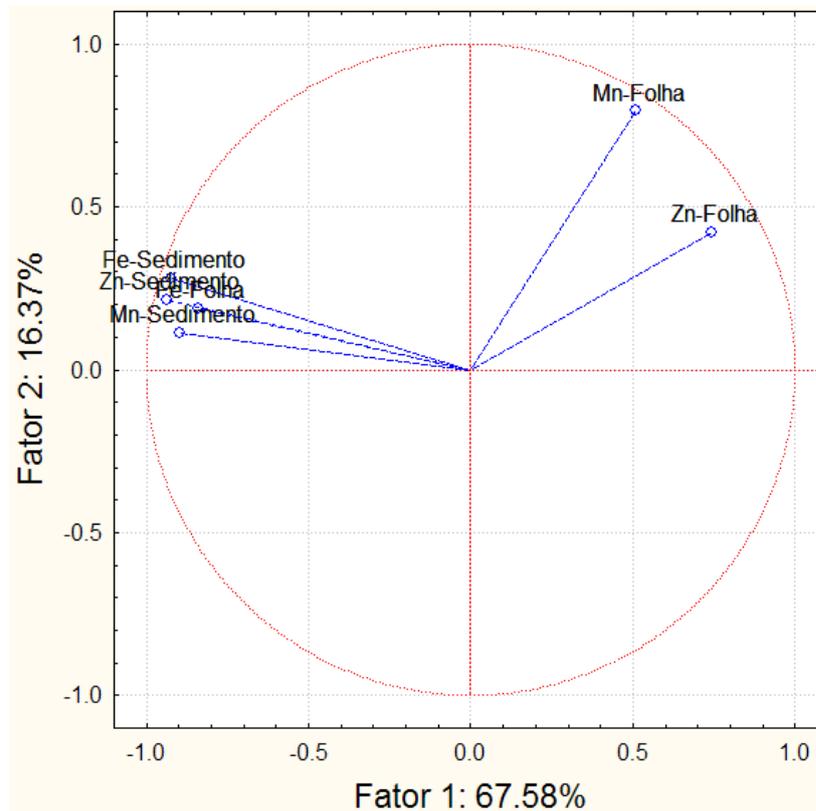
a)		<hr/> <hr/>					
		<i>Fe-FH</i>	<i>Mn-FH</i>	<i>Zn-FH</i>	<i>Fe-SD</i>	<i>Mn-SD</i>	<i>Zn-SD</i>
1ª Campanha	<i>Fe-FH</i>	1,00					
	<i>Mn-FH</i>	-0,10	1,00				
	<i>Zn-FH</i>	-0,11	<b>0,81</b>	1,00			
	<i>Fe-SD</i>	0,14	<b>-0,82</b>	<b>-0,61</b>	1,00		
	<i>Mn-SD</i>	0,13	<b>-0,81</b>	-0,42	<b>0,84</b>	1,00	
	<i>Zn-SD</i>	-0,07	<b>-0,81</b>	-0,43	<b>0,89</b>	<b>0,96</b>	1,00
b)		<hr/> <hr/>					
		<i>Fe-FH</i>	<i>Mn-FH</i>	<i>Zn-FH</i>	<i>Fe-SD</i>	<i>Mn-SD</i>	<i>Zn-SD</i>
2ª Campanha	<i>Fe-FH</i>	1,00					
	<i>Mn-FH</i>	-0,36	1,00				
	<i>Zn-FH</i>	<b>-0,85</b>	0,37	1,00			
	<i>Fe-SD</i>	<b>0,83</b>	0,09	<b>-0,66</b>	1,00		
	<i>Mn-SD</i>	<b>0,76</b>	-0,08	<b>-0,72</b>	<b>0,87</b>	1,00	
	<i>Zn-SD</i>	<b>0,91</b>	-0,05	<b>-0,76</b>	<b>0,99</b>	<b>0,88</b>	1,00

O teste de correlação evidenciou fortes associações positivas e negativas, com destaque na primeira campanha para o Mn com Zn das folhas ( $r = 0,81$ ), e associações inversamente proporcionais do Mn das folhas com Fe ( $r = -0,82$ ), Mn ( $r = -0,81$ ) e Zn ( $r = -0,81$ ) do sedimento. E no segundo período, para o Fe com Zn ( $r = -0,85$ ) das folhas, e com o Fe ( $r = 0,83$ ), Mn ( $r = 0,76$ ) e Zn ( $r = 0,91$ ) dos sedimentos de entorno.

Estas fortes associações podem ser justificadas devido ao processo de deposição de óxidos e hidróxidos de manganês e ferro, o qual é favorecido pela respiração das raízes de plantas de manguezal. Neste processo ocorre a transformação do sulfeto em sulfato, o que reduz a toxidez e finalmente forma uma placa de ferro na superfície da raiz (LEÃO, 2004; GONÇALVES, 2010).

O gráfico de PCA (Figura 8), também evidenciou altas correlações entre o Fe, Mn e Zn do sedimento com o Fe das folhas. As duas componentes principais (Fator 1 e 2) indicaram 83,95% de representatividade dos dados.

**Figura 8** – Diagrama de ordenação da Análise de Componentes Principais para os elementos químicos determinados nas folhas de *Avicennia schaueriana* e sedimentos de entorno no manguezal do rio Una

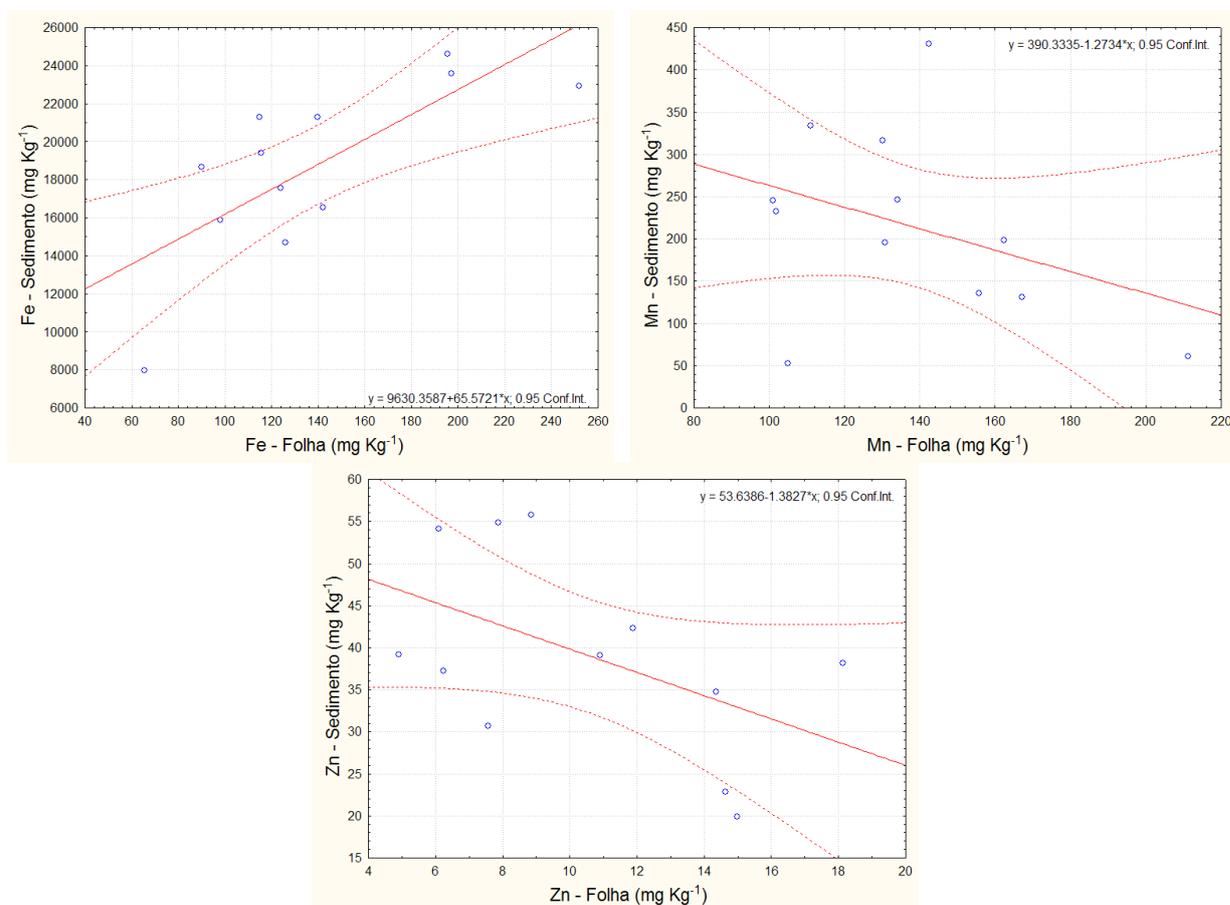


Verificou-se ainda que os teores dos elementos determinados nos sedimentos apresentaram fortes correlações entre si, sugerindo que processos geoquímicos semelhantes controlam a distribuição desses elementos na área de estudo.

Os teores determinados para cada metal nas folhas e nos sedimentos também foram plotados em gráficos de dispersão de pares ordenados e submetidos a uma análise de regressão linear simples ( $y = ax + b$ ), para verificar possíveis tendências e relações entre estas duas matrizes de estudo (Figura 9).

Observou-se nestes gráficos que as variações das concentrações do Fe ocorreram de forma diretamente proporcional entre as matrizes, e as dos elementos Mn e Zn se posicionaram de forma inversa.

**Figura 9** – Gráficos de regressão linear das concentrações de Fe, Mn e Zn nas folhas de *Avicennia schaueriana* e sedimentos de entorno, do manguezal do rio Una



As concentrações determinadas nas folhas de *Avicennia schaueriana* foram comparadas com outros trabalhos realizados em ambientes de manguezal como demonstrado na Tabela 8. Por meio desta comparação, foi possível verificar que a concentração média de Fe nas folhas para a primeira campanha estava entre o limite mínimo exigido por Hopkins (2000) e do valor médio encontrado por Bernini et al., (2006). Já para a segunda campanha a concentração média deste elemento foi maior que as referências citadas.

As concentrações médias referentes ao Mn foram maiores que as observadas por Bernini et al., (2006) e Hopkins (2000) para as duas campanhas, porém encontraram-se abaixo dos limites considerados tóxicos por Ross (1994). E em relação ao Zn, os valores das concentrações médias registradas para este trabalho estiveram bem próximas ao encontrado por todas as referências e dentro do limite considerado normal para os dois períodos de coleta.

**Tabela 8** – Comparação dos teores dos elementos químicos em mg Kg<sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas nas folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman do manguezal do rio Una, Una, Bahia com outros estudos

	Fe		Mn		Zn	
	1a campanha	2a campanha	1a campanha	2a campanha	1a campanha	2a campanha
Ponto 1	98,15	65,56	162,37	105,00	14,35	14,98
Ponto 2	125,98	123,88	211,32	167,19	14,64	10,90
Ponto 3	141,95	251,93	130,78	100,94	7,58	7,88
Ponto 4	115,47	197,23	134,19	111,00	6,23	6,11
Ponto 5	114,79	89,95	101,86	155,79	4,91	18,13
Ponto 6	139,79	195,41	130,19	142,40	11,89	8,86
μ	122,68	153,99	145,11	130,38	9,93	11,14
CV	13,59%	46,83%	25,97%	21,78%	42,71%	41,08%
<b>NN</b>	ND		<b>15-100</b>		<b>8-400</b>	
<b>NT</b>	ND		<b>300-500</b>		<b>400</b>	
<b>(1)</b>	<b>147,98</b>		<b>100,5</b>		<b>10,46</b>	
<b>(2)</b>	ND		ND		<b>11,24</b>	
<b>(3)</b>	<b>111,69</b>		<b>54,93</b>		<b>19,61</b>	

Legenda: **μ** = média das médias, ou média populacional; **CV** = coeficiente de variação; **NN** = níveis normais de metais em plantas, segundo ROSS, 1994; **NT** = níveis tóxicos de metais em plantas, segundo ROSS, 1994; **(1)** = concentrações médias de elementos químicos de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman, segundo Bernini, et al., 2006; **(2)** = concentração média de Zn em folhas de *Avicennia marina*, segundo KUMAR, 2011; **(3)** = concentrações de elementos essenciais para o crescimento normal de plantas segundo Hopkins, 2000; **ND** = não determinado.

Segundo Lacerda (1984) e Lacerda et al., (1988), o Mn não forma sulfetos estáveis e por isso é facilmente solubilizado sob condições redutoras ou anóxicas típicas de manguezal, e tornam-se biodisponíveis às plantas quando comparados a outros metais. Este fato pode justificar as elevadas concentrações de Mn em relação a Bernini et al., (2006) e Ross (1994).

A presença de placas de ferro nas raízes de plantas de manguezal funciona como uma barreira a translocação do zinco das plantas para o sedimento numa concentração de 350 mg Kg<sup>-1</sup>. No entanto, para valores superiores a este, o Zn concentra-se fora das raízes (GONÇALVES, 2010). Os teores de zinco determinados neste trabalho encontram-se abaixo deste limite.

A composição química das folhas pode ser influenciada pelas características químicas e físicas do ambiente (IGNÁCIO et al., 2005). Para tanto, na distribuição dos elementos químicos determinados nas folhas durante os períodos de novembro de 2011 e abril de 2012 foi avaliado a influência dos parâmetros não conservativos aferidos na água intersticial do sedimento de entorno das raízes de árvores de *Avicennia schaueriana*.

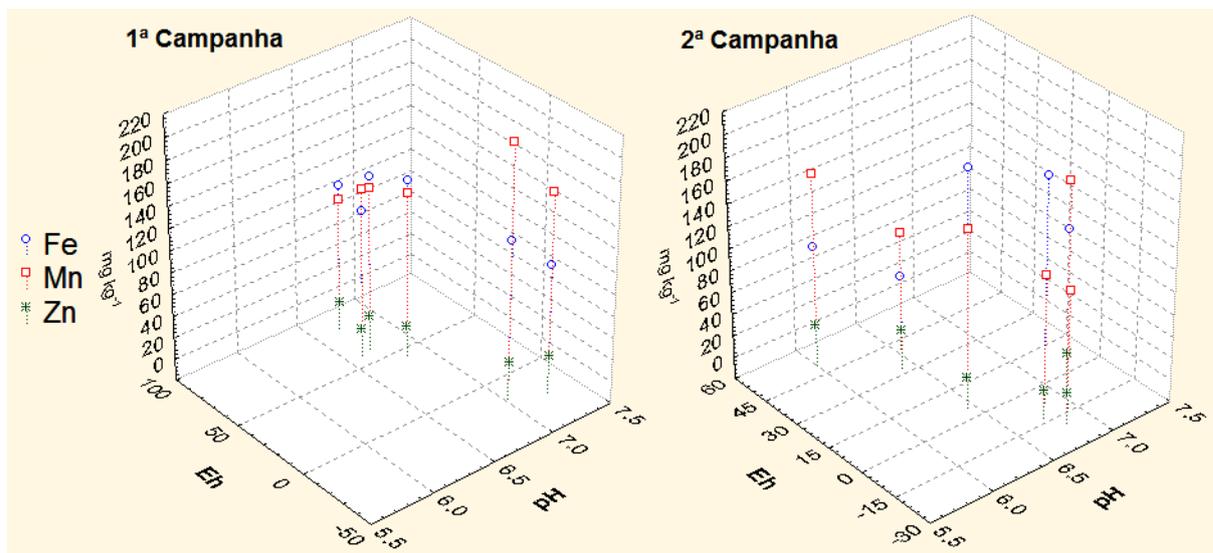
A distribuição dos dados em relação aos parâmetros não conservativos está representada pela Figura 10, para os dois períodos de coleta. A projeção dos

gráficos do tipo *scatterplot* permitiu observar que, o pH da água intersticial do sedimento variou de 6,6 a 7,3 na primeira campanha; e de 6,0 a 7,1 na segunda campanha.

Estes intervalos estão dentro da faixa indicada na literatura, em que a variação do pH em água intersticial do sedimento de manguezal normalmente ocorre de 4,8 a 8,82 (CITRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1981).

As variações elevadas de Eh para a primeira (-50 a 100) e segunda campanha (-30 a 60) podem estar associadas à distância entre os pontos de amostragem ao longo do estuário.

**Figura 10** – Distribuição das concentrações ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de Fe, Mn e Zn nas amostras analisadas, em função de pH e Eh



As concentrações de Fe na segunda campanha (Figura 10) foram maiores quando  $6.0 < \text{pH} < 7.0$ . Isto pode ser corroborado pelo fato de que em solos com pH abaixo de 6,5, o Fe apresenta-se na forma solúvel (DENNIS, 1987). Os valores de Fe apresentaram variações dentro do limite considerado essencial para o crescimento normal de plantas segundo Hopkins, 2000, e valores próximos aos encontrados por Bernini et al., 2006.

A concentração foliar foi dividida pela concentração no sedimento para determinar o fator de concentração (FC), segundo Salisbury & Ross (1992).

Verificou-se que o Mn foi o único elemento que apresentou um  $\text{FC} > 1$  na primeira campanha, tornando-se pouco disponível às plantas (Tabela 9). Como

também, teve a razão das concentrações das folhas sob o sedimento maior que Bernini et al., (2006), e Garcia (2005), porém um valor inferior àquele encontrado por Cuzzuol e Campos (2001) e Oliveira (2000).

**Tabela 9** – Comparação das médias dos fatores de concentração dos elementos químicos determinados nas folhas de *Avicennia schaueriana* sob os do sedimento da área de manguezal do estuário do rio Una e outras regiões de manguezais

Elementos	Rio Una <i>Avicennia schaueriana</i>		Rio São Mateus <sup>(1)</sup> <i>Avicennia schaueriana</i>	BTS <sup>(2)</sup> <i>Avicennia schaueriana</i>	Rio Mucuri <sup>(3)</sup> <i>Avicennia germinans</i>	Baia de Camamu <sup>(4)</sup> <i>Avicennia schaueriana</i>
	C1	C2				
Mn	1,06	0,92	0,73	0,71	7,59	1,67
Fe	0,01	0,01	0,10	0,01	0,07	0,01
Zn	0,31	0,32	1,52	0,47	2,54	0,57

(1) FC segundo Bernini et al., 2006; (2) FC segundo Garcia, 2005; (3) FC segundo Cuzzuol e Campos, 2001; (4) FC segundo Oliveira, 2000; ND = não determinado.

O elemento Fe apresentou um FC menor que Bernini et al., 2006 e Cuzzuol e Campos (2001), porém valor similar àquele observado por Garcia (2005) e Oliveira (2000).

O FC calculado para o Zn por sua vez, apresentou todos os valores abaixo dos estudos citados, tanto para a primeira quanto para a segunda campanha, indicando baixa disponibilidade às plantas.

#### 4.4 CONCLUSÕES

No geral, as concentrações de Fe, Mn e Zn encontraram-se dentro dos limites considerados normais em comparação a boa parte dos estudos referenciados neste trabalho e que relataram concentrações de elementos químicos em folhas do gênero *Avicennia*.

Os testes estatísticos revelaram que não houve diferenças significativas quanto à variação espaço – temporal e os dados apresentaram distribuição normal e elevada homocedasticidade.

As maiores concentrações dos analitos determinados nas amostras de folhas de *Avicennia schaueriana* foram encontradas na segunda campanha, período de

estiagem, com valores de Eh indicando ambiente redutor, e os de pH, como levemente ácido. Este comportamento pode ser justificado pela forte influência do movimento das marés, o qual favoreceu a solubilização dos elementos e a sua disponibilização à cadeia trófica. Entretanto, estas concentrações encontram-se abaixo dos níveis considerados tóxicos à espécies vegetais.

E os baixos valores dos fatores de concentração reforçaram a elevada seletividade das plantas de mangue na translocação de elementos químicos que podem ser nocivos ao seu desenvolvimento.

#### 4.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e a Queiroz Galvão S.A. pelo apoio financeiro através do projeto “Diagnóstico geoambiental de zonas de manguezal e desenvolvimento de processos tecnológicos aplicáveis a remediação dessas zonas: subsídios a um Programa de Prevenção de Impactos em Áreas com Potencial para Atividades Petrolíferas na Região Litoral Sul do Estado da Bahia – PETROTECMANGUE-BASUL.

#### 4.6 REFERÊNCIAS

AGORAMOORTHY, G; CHEN, F. A; HSU, M. J. Threat of heavy metal pollution in halophytic and mangrove plants of Tamil Nadu, India. **Environ Pollut.** v. 155. 320-326p. 2008.

ASTM. **American Society for Testing and Materials. Standard practice for Extraction of Trace Elements From Sediments.** Annual book of ASTM standards. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials. (Designation: D5258 – 92 – Reapproved 1996). Vol.11 (02). 1992.

BERNINI, E; SILVA, M. A. B. da; CARMO, T. M. S. do; CUZZUOL, G. R. F. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do manguezal do rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n.4, p. 689-699. 2006.

CALLEGARI –JACQUES, Sidia Mar. **Bioestatística: princípios e aplicações.** Porto Alegre: Artmed, 2003.

CITRÓN, G; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Introduction a La ecologia del manglar.** Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 20p. 1981.

CUZZUOL, G. R. F; CAMPOS, A. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do manguezal do rio Mucuri, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, ed. 2, v. 24, p. 227-234. 2001.

DENNIS, E. J. **Micronutrientes – Uma nova dimensão na agricultura**. 2ed. Fundação Cargill, 50p. 1987.

GARCIA, K. S. **Estudos biogeoquímicos em folhas de *Avicennia shaueriana* Stapf & Leechman em zonas de manguezal da região de São Francisco do Conde e Madre de Deus-BA**. 2005. Dissertação (Mestrado em geoquímica ambiental). Instituto de geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, BA. 2005.

GONÇALVES, M. V. P. **Análise de plantas de mangue como bioindicadoras da qualidade ambiental nas ilhas de Tinharé e Boipeba, município de Cairu, Bahia, Brasil**. Dissertação de mestrado. 144p. 2010.

HOPKINS, W. G. **Introduction to Plant Physiology**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000, 512p.

IGNÁCIO, G. M; DOMINGUES, D; KOTLER, L; LANA, P. C; CARRILHO, J. C. Variação nos níveis de herbivoria foliar em dois manguezais da BAÍA DE Paranaguá (Paraná – Brasil). **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, ed. 2, v. 9, p. 1-4. 2005.

KUMAR, I. J. N.; SAJISH, P. R.; NIRMAL, R.; BASIL, G.; SHAIENDRA, V. An Assessment of the Accumulation Potential of Pb, Zn and Cd by *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. In Vamleshwar Mangroves, Gujarat, India. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 3, n. 1, p. 36-40, 2011.

KESHAVARZ, M; MOHAMMADIKIA, D; GHARIBPOUR, F; DABBAGH, A. R. Accumulation of Heavy Metals (Pb, Cd, V) in Sediment, Roots and Leaves of Mangrove Species in Sirik Creek along the Sea Coasts of Oman, Iran. **Journal of Life Science and Biomedicine**. 2(3): 88-91. 2012.

LACERDA, L. D. Manguezais: florestas de beira mar. **Ciência Hoje**, ed. 3, p. 63-70. 1984.

LACERDA, L. D., MARTINELLI, L. A., REZENDE, C. A., MOZETTO, A. A., OVALLE, A. R. C., VICTORIA, R. I., SILVA, C. A. R., NOGUEIRA, F. B. The fate of heavy metals in suspended matter in a mangrove creek during a tidal cycle. **Sci. Total Environ.**, v. 75, p. 249–259, 1988.

LEÃO, C. da S. **Caracterização Geoambiental de Zonas de Manguezal da Baía de Aratu, Bahia, Brasil**. 124f. Dissertação de mestrado - Instituto de Geoquímica e Meio Ambiente, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2004.

MACFARLANE, G. R., BURCHETT, M. D. Toxicity, growth and accumulation relationships of copper, lead and zinc in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. **Marine Environmental Research**, v. 54, p. 65–84, 2002.

MALAVOLTA, E; VITTI, G. C; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª Ed. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1997. 319p.

OLIVEIRA, O. M. C. **Diagnóstico geoambiental em zonas de manguezal da Baía de Camamu-BA**. 2000. 249f. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói, RJ. 2000.

PASSARELI, L. da S. **Composição química e aporte de nutrientes das folhas de serapilheira em um manguezal do norte do estado do Rio de Janeiro**. Monografia. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Centro de Biociências e Biotecnologia. Campos dos Goytacazes – RJ. 2011.

RODRIGUES, K. M. R. **Estudos Biogeoquímicos Utilizando Folhas do Gênero *Avicennia* como Indicadora de Impactos Ambientais na Região Petrolífera de São Francisco do Conde – Bahia**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 168p. 2005.

ROSS, S.M. **Toxic metals in soil-plant systems**. John Wiley & Sons, New York. 1994. 484p.

SALISBURY, F. B; ROSS, C. W. **Plant physiology**. **Wadsworth Publishing Company**, Belmont. 1992.

SILVA, J. M.; MARTINS, M. B. G.; CAVALHEIRO, A. J. Caracterização anatômica e perfis químicos de folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leech. ex Moldenke e *Rhizophora mangle* L. de manguezais impactados e não impactados do litoral paulista. **INSULA Revista de Botânica**, v. 39, p. 14-33. 2010.

THOMAS, C., EONG, O.J. Effects of the heavy metals Zn and Pb on *R. mucronata* and *A. alba* seedlings. In: Soepadmo, E., Rao, A.M., MacIntosh, M.D. (Eds.), **Proceedings of the Asian Symposium on Mangroves and Environment; Research and Management**. ISME, Malaysia, pp. 568–574, 1984.

WONG, Y. S; TAM, N. F. Y. Accumulation and distribution of heavy metals in a simulated mangrove system treated with sewage. **Hydrobiologia**. v. 352, 67–75p. 1997.

## 5 DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS EM ZONAS DE MANGUEZAL DO RIO JEQUITINHONHA NO SUL DA BAHIA ATRAVÉS DE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

**Resumo:** Este estudo foi realizado a fim de determinar as concentrações de elementos químicos em duas espécies de manguezal do gênero *Avicennia* no rio Jequitinhonha ao longo da costa sul da Bahia. As coletas foram realizadas em dois períodos e as amostras de folhas passaram por processos de liofilização e digestão ácida. Estes elementos foram determinados por ICP OES e, posteriormente, foram divididos em dois grupos: microelementos e macroelementos. As relações entre os fatores ambientais e a vegetação também foram investigados em função do pH e Eh aferidos na água intersticial. Os elementos Ca, Fe, Mg, Mn, Na, P e Zn foram determinados acima do limite de quantificação, enquanto que as concentrações de Cd, Ni e V ficaram abaixo deste limite para as duas campanhas realizadas. Diferenças significativas não foram encontradas nas médias das concentrações determinadas nas folhas entre períodos e extensão do manguezal. A técnica de PCA revelou que houve um agrupamento por espécie, indicando que a *Avicennia schaueriana* acumulou uma quantidade maior de elementos. Os valores médios das concentrações dos elementos foram relativamente baixos quando comparados com outros estudos disponíveis na literatura.

**Palavras-chave:** *Avicennia*. Manguezal. Quimiometria. PCA.

### 5.1 INTRODUÇÃO

O ecossistema de manguezal é rico em biodiversidade e representa um habitat para muitas espécies da fauna e da flora (DUKE et al., 2007). No entanto, o aumento da urbanização, a expansão das atividades industriais e a intensa exploração dos recursos naturais, têm contribuído diretamente para que os manguezais estejam desaparecendo em um ritmo preocupante (NAGELKERKEN et al., 2008).

Devido à sua persistência, toxicidade potencial e biodisponibilidade, os metais pesados representam uma grande ameaça para a biodiversidade dos ecossistemas de manguezais e também para a saúde humana. Além disso, a sua origem antropogênica, como por exemplo, atividades de mineração e indústrias, juntamente com os processos naturais, como intemperismo geológico de solos e rochas, aumentam a sua ocorrência. Isto porque os metais pesados são transportados pela água ou pelo vento para zonas costeiras, onde podem ser depositados como sedimentos (MARCHAND et al., 2012).

Os autores Macfarlane e Burchett (2002) reforçam que árvores do gênero *Avicennia* apresentam maior predisposição para acumular elementos metálicos nocivos quando comparadas a outros gêneros.

Recentemente, muitos estudos têm sido realizados em diferentes países para determinar concentrações de metais pesados e avaliar a sua distribuição em ecossistemas de manguezais (GONZALEZ-MENDOZA et al., 2007; KESHAVARZ et al., 2012; KUMAR et al., 2011; SHIRVANI et al., 2012).

A utilização de folhas como indicadores da qualidade ambiental tem se destacado nestes ambientes, pois são consideradas como os órgãos que melhor refletem o estado nutricional dos vegetais tendo, portanto, um relevante papel na circulação de elementos químicos (BERNINI et al., 2006; GARCIA et al., 2007; ANDRADE, 2011).

Os estudos de Keshavarz et al. (2012) e Shirvani et al., (2012) mostraram que as folhas exibiram concentrações maiores em relação às raízes e pecíolos de árvores de manguezais, o que contraria as informações normalmente encontradas na literatura e reforça a importância de estudos voltados para esta temática.

Este trabalho apresenta uma avaliação de teores dos elementos químicos em folhas de *Avicennia*, e, através do emprego da estatística multivariada, analisa a sua distribuição no manguezal do rio Jequitinhonha, sul da Bahia.

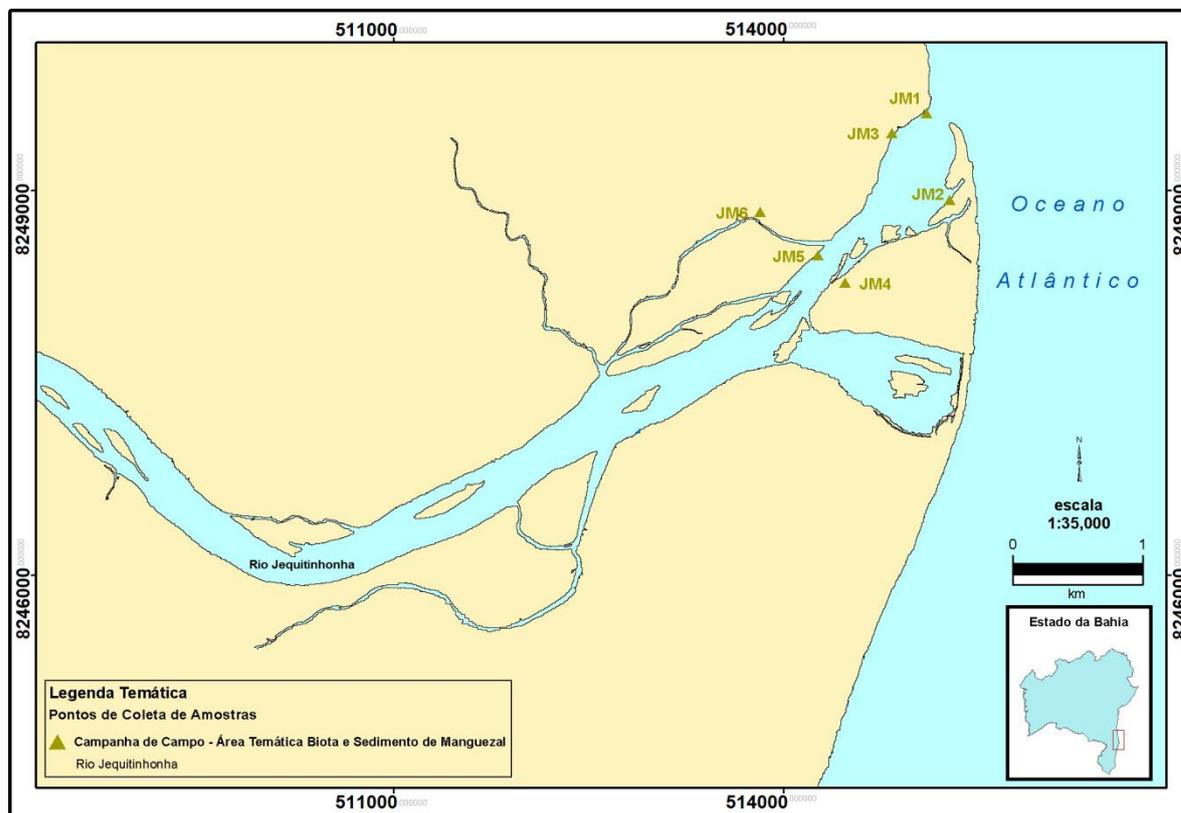
## 5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

As coletas de folhas foram realizadas no manguezal do rio Jequitinhonha, município de Belmonte, costa sul da Bahia. O delta do rio Jequitinhonha abrange os baixos cursos dos rios: Pardo e Jequitinhonha (DOMINGUEZ et al., 1982). A cidade de Belmonte está inserida neste delta. Sua bacia hidrográfica possui um clima com características de semi-árido a úmido, apresentando pequenas variações anuais de temperatura (21 a 24°C) e índices de pluviosidade que vão de 600 a 1600 mm (LIMA, 2011).

As espécies selecionadas foram *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leechman. e *Avicennia germinans* Linnaeus. Seis pontos amostrais foram pré-estabelecidos na extensão do manguezal de estudo, como pode ser verificado na Figura 11, ao longo de duas campanhas. A primeira campanha foi realizada em novembro de 2011, e a segunda em abril de 2012. Durante as coletas, realizou-se a aferição dos

parâmetros não conservativos, potencial hidrogênico (pH) e potencial redox (Eh) na água intersticial do sedimento de entorno das raízes do gênero *Avicennia*.

**Figura 11** – Pontos de amostragem na região de manguezal do rio Jequitinhonha, sul da Bahia. Coordenadas em metros (UTM, WGS84)



O procedimento de coleta consistiu na retirada de 15 folhas para cada três árvores, selecionadas aleatoriamente, resultando em 45 unidades por ponto. Após serem recolhidas, as amostras foram então armazenadas em sacos plásticos etiquetados. Em sequência, as embalagens plásticas contendo as amostras foram transferidas para caixas térmicas preenchidas com gelo para conservação e acondicionamento. No Laboratório de Estudos do Petróleo (LEPETRO) do Núcleo de Estudos Ambientais (NEA/IGEO/UFBA) foram mantidas congeladas a uma temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  em freezer até o momento da realização das análises.

As amostras após serem submetidas à digestão ácida em forno de micro-ondas com cavidade foram analisadas e os elementos Ca, Cd, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Ni, V e Zn foram quantificados por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES).

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa Statistica 8.0. A homogeneidade dos dados foi verificada através dos cálculos de coeficientes de variação (CV), e para a normalidade foram aplicados testes de Shapiro-Wilk. As diferenças significativas quanto a distribuição dos elementos de forma temporal foi verificada através do teste t de *Student*. O nível de significância adotado foi de 5% com base em Callegari-Jacques (2003). E também foram investigadas as principais tendências das concentrações dos elementos químicos através da técnica de Análise dos Componentes Principais (PCA).

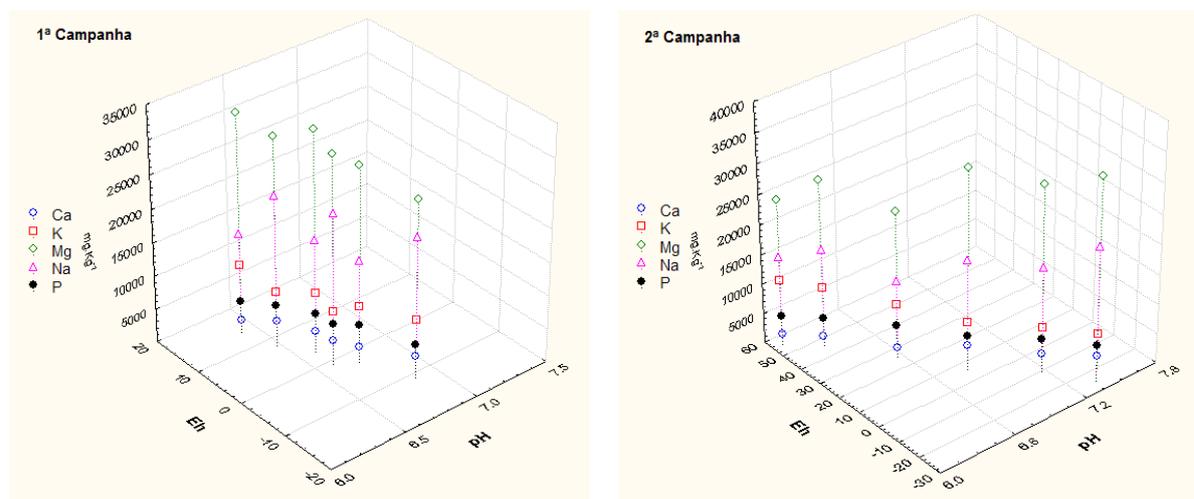
### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades físico-químicas da água intersticial influenciam diretamente na disponibilidade adequada de elementos químicos para as plantas (BERNINI; REZENDE, 2010).

Para tanto, foi avaliada a influência dos parâmetros não conservativos aferidos na água intersticial sobre a distribuição dos elementos determinados nos dois períodos de coleta, e observou-se que o pH variou de 6,0 a 7,0 na primeira campanha e de 6,0 a 7,8, na segunda, indicando uma variação de ambiente levemente ácido para neutro (Figura 12).

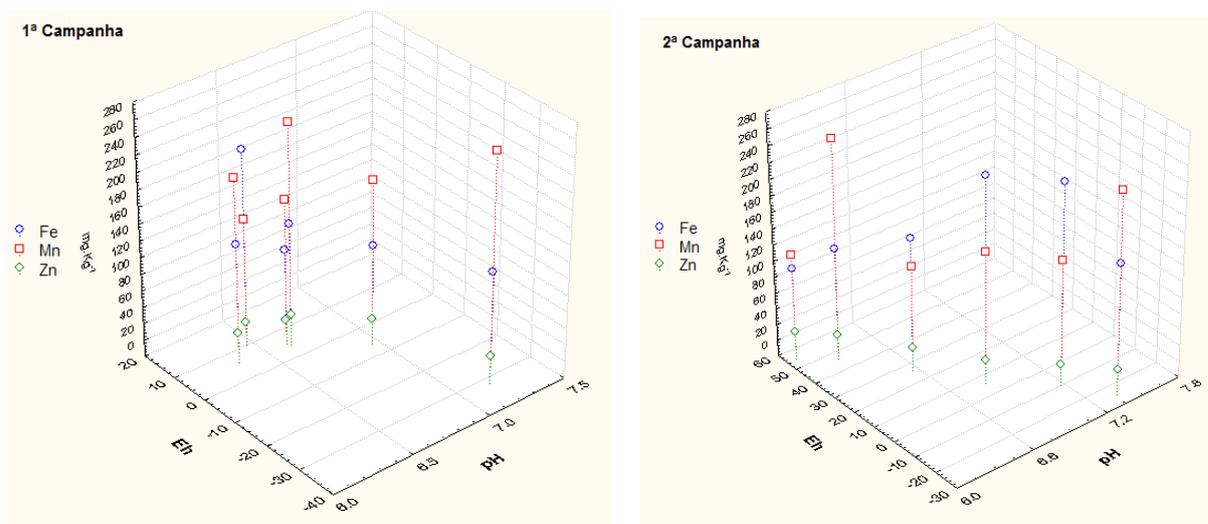
Estes intervalos estão dentro da faixa indicada na literatura, em que a variação do pH em água intersticial do sedimento de manguezal normalmente ocorre de 4,8 a 8,82 (CITRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1981).

**Figura 12** – Distribuição de macronutrientes determinados em folhas de *Avicennia* no manguezal do rio Jequitinhonha



Os valores aferidos do potencial redox apresentaram altas variações para as duas campanhas, sendo que a faixa de variação da primeira foi de -20 a 20, e na segunda de -30 a 60. O Eh apresentou elevadas variações tanto para a primeira, de -50 a 100, quanto para a segunda, de -30 a 60, provavelmente devido à influência direta do movimento das marés.

**Figura 13** – Distribuição de microelementos determinados em folhas de *Avicennia* no manguezal do rio Jequitinhonha



Para os microelementos (Figura 13), o pH variou de 6,0 a 7,5 na primeira campanha e de 6,0 a 7,8 na segunda. E com relação aos valores de Eh, também foram encontradas elevadas variações.

A Tabela 11 apresenta as concentrações médias por campanha realizada dos elementos químicos determinados nas folhas. Foi possível constatar que os teores de Cd, Ni e V encontraram-se abaixo do limite de quantificação, e, portanto, não ofereceram risco de toxicidade às árvores do ambiente de manguezal de estudo.

A comparação entre os estudos realizados permitiu observar que as concentrações de Ca para as duas campanhas foram inferiores a Bernini et al., (2006), Epstein, (1965), Hopkins, (2000) e Passareli (2011); os teores de Fe foram maiores em relação a Bernini et al., (2006), Epstein, (1965), Hopkins, (2000) para primeira campanha e inferiores a Bernini et al., (2006), para a segunda; para o K suas maiores concentrações se deram na segunda campanha em comparação a

Epstein, (1965) e Hopkins, (2000) e menores para os dois períodos quando comparadas a Bernini et al., (2006) e Passareli (2011).

**Tabela 10** – Concentrações médias ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos analitos determinados nas folhas do manguezal do rio Jequitinhonha por ICP OES

Ep.	Cp.	Pt.	Ca	Cd	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Zn	V
<i>Avicennia schaueriana</i>	1 <sup>a</sup>	1	3742,30		140,83	8159,87	31159,09	99,83	22557,72		6196,73	9,45	
		2	3503,48		255,01	7772,86	34264,55	181,22	17619,86		6792,49	9,17	
		3	3305,75		114,81	9052,50	32989,00	149,57	17029,25		5991,95	10,17	
		$\mu$	3517,17		170,22	8328,41	32804,22	143,54	19068,94		6327,06	9,60	
<i>Avicennia schaueriana</i>	2 <sup>a</sup>	1	4154,14	LQ = <0,01	236,19	8115,81	33508,60	144,61	18489,98	LQ = <0,02	5758,16	9,53	LQ = <0,01
		2	2993,89		230,98	7482,81	31180,18	137,22	17591,05		5622,51	6,63	
		3	4292,45		143,53	8100,98	33967,80	231,21	22483,90		6062,38	12,69	
		$\mu$	3813,49		203,57	7899,86	32885,53	171,01	19521,64		5814,35	9,62	
<i>Avicennia germinans</i>	1 <sup>a</sup>	4	2495,18		103,05	8579,05	29298,19	142,05	15437,75		5784,05	7,23	
		5	1891,83		109,48	10403,51	32657,65	232,65	15054,79		4832,28	12,22	
		6	3386,94		118,49	8873,23	26524,87	210,58	20984,20		5002,07	15,92	
	$\mu$	2591,32	LQ = <0,01	110,34	9285,26	29493,57	195,09	17158,91		5206,13	11,79	LQ = <0,01	
	2 <sup>a</sup>	4	1737,92		120,27	10137,16	28054,21	252,91	16438,25		4734,18	11,82	
		5	1569,56		146,47	9027,49	24649,41	111,67	12987,70	LQ = <0,02	5404,65	9,48	LQ = <0,01
6		1954,77		95,12	11232,77	24557,66	112,16	15061,02		4960,99	14,63		
$\mu$	1754,08		120,62	10132,47	25753,76	158,91	14828,99		5033,27	11,98			
<b>(Ber)</b>			<b>3903,59</b>		<b>147,98</b>	<b>12777,22</b>	<b>13076,09</b>	<b>100,5</b>	ND		<b>1499,09</b>	<b>10,46</b>	
<b>(Pas)</b>			<b>4960</b>		ND	<b>11420</b>	<b>8470</b>	ND	<b>8370</b>		<b>770</b>	ND	
<b>(Eps)</b>			<b>5000</b>		<b>100</b>	<b>10000</b>	<b>2000</b>	<b>50</b>	ND		<b>2000</b>	<b>20</b>	
<b>(Hop)</b>			<b>5000,75</b>		<b>111,69</b>	<b>9774,5</b>	<b>1944,4</b>	<b>54,93</b>	<b>9195</b>		<b>1858,38</b>	<b>19,61</b>	

Legenda: **Ep.**= Espécie; **Cp.**= Campanha; **Pt.**= Ponto de coleta;  $\mu$  = média de concentração; **LQ**=limite de quantificação; **(Ber)** = concentrações médias de elementos químicos de *Avicennia schaueriana*, segundo Bernini, et al., 2006; **(Pas)** = concentrações médias anuais de elementos químicos para *Avicennia germinans* segundo Passareli, 2011; **(Eps)** = concentrações típicas para o crescimento das plantas segundo Epstein, 1965; **(Hop)** = concentrações de elementos essenciais para o crescimento normal da planta segundo Hopkins, 2000; **ND** = não determinado.

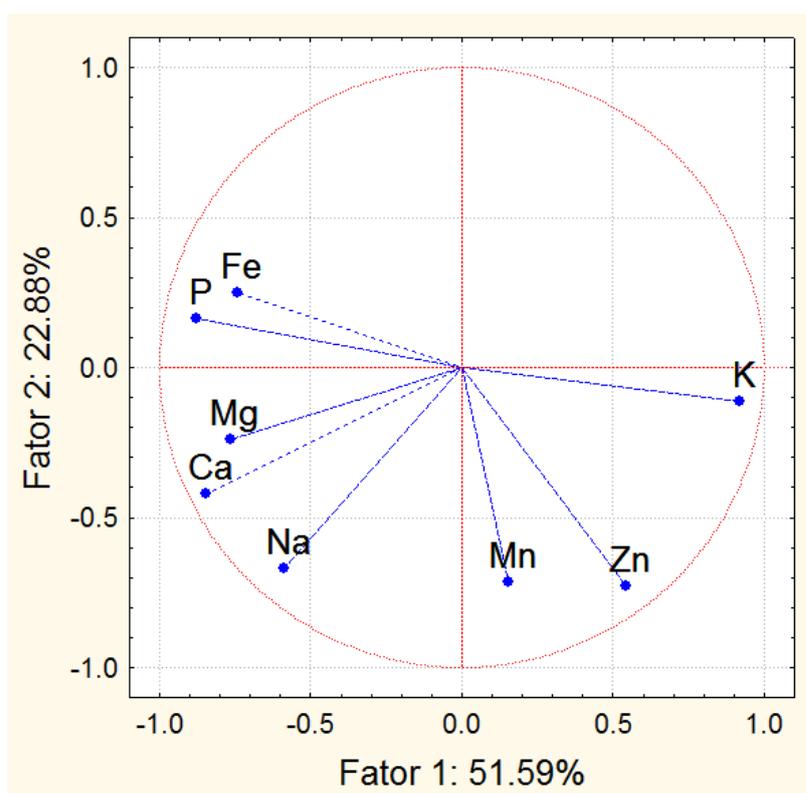
Os teores dos elementos Mg, Mn, Na e P foram bem superiores as concentrações registradas nos estudos citados; e as concentrações de Zn foram relativamente baixas em comparação a Bernini et al., (2006), Epstein, (1965), Hopkins, (2000) na primeira campanha, ao contrário da segunda, a qual foi superior aos notados por Bernini et al., (2006).

Ao comparar os teores entre espécies observou-se que as concentrações de Fe, Mg, Na e P foram bem elevadas, ao contrário do Ca determinados em folhas de *A. schaueriana*, em relação a Bernini et al., (2006). E em relação ao estudo realizado por Passareli (2011), verificou-se que as concentrações de K foram menores e as de Mn apresentaram-se em maior quantidade.

Esta análise comparativa permitiu concluir que a *A. schaueriana* tende a acumular concentrações maiores em relação a *A. germinans* e também aos estudos referenciados neste trabalho.

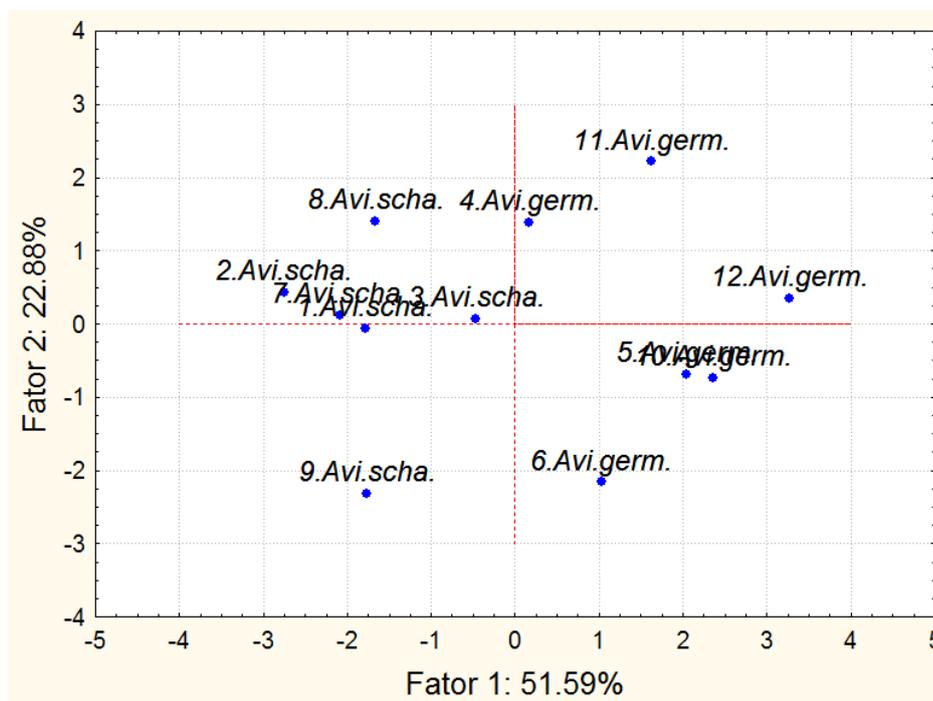
A técnica de Análise dos Componentes Principais (PCA – *Principal Component Analysis*) foi aplicada e as duas primeiras componentes principais (Fator 1 e 2) explicaram em conjunto aproximadamente 72,5% da variância total dos dados (Figura 14).

**Figura 14** – Diagrama de ordenação da Análise de Componentes Principais para os elementos químicos determinados nas folhas do gênero *Avicennia* no manguezal rio Jequitinhonha



Verificou-se também que tanto para a primeira quanto para a segunda campanha, as maiores concentrações de Ca, Fe, Mg, Na e P foram observadas na espécie *Avicennia schaueriana*. E as maiores concentrações de K, Mn e Zn foram encontradas na *Avicennia germinans*, da mesma forma para as duas campanhas.

**Figura 15** – Gráfico de escores do diagrama de ordenação do PCA para os elementos químicos determinados nas folhas do gênero *Avicennia* no manguezal rio Jequitinhonha



Este resultado pode ser verificado através do gráfico de escores (Figura 15), no qual o primeiro grupo de analitos está posicionado na região negativa da segunda componente principal e o segundo grupo mencionado, na região positiva da mesma.

#### 5.4 CONCLUSÕES

A distribuição de elementos químicos em ecossistemas de manguezais pode ser estudada através da utilização de espécies de folhas de árvores de manguezal como bioindicadoras de impactos ambientais.

Neste estudo foi constatado que, de forma geral, os maiores valores de concentração foram encontrados na primeira campanha. Os valores do potencial hidrogênico encontraram-se dentro do limite indicado na literatura. No entanto, as faixas do potencial redox indicaram ambiente ora redutor ora oxidante, apresentando elevadas variações que podem ser justificadas tanto pela influência do regime das marés, quanto pela distância entre os pontos de coleta.

A análise estatística evidenciou a formação de um agrupamento por espécie do gênero *Avicennia*, com destaque para a *Avicennia schaueriana* a qual acumulou uma quantidade maior de nutrientes, dentro dos limites considerados saudáveis.

Apesar das duas coletas realizadas não foram verificadas diferenças significativas de forma temporal, o que pode ser explicado em função da similaridade do regime pluviométrico registrado na região de estudo.

## 5.5 AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e a Queiroz Galvão S.A. pelo apoio financeiro através do projeto “Diagnóstico geoambiental de zonas de manguezal e desenvolvimento de processos tecnológicos aplicáveis a remediação dessas zonas: subsídios a um Programa de Prevenção de Impactos em Áreas com Potencial para Atividades Petrolíferas na Região Litoral Sul do Estado da Bahia – PETROTECMANGUE-BASUL.

## 5.6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. L. N. de. **Biogeoquímica do ambiente estuarino do rio Passa Vaca em área urbana de Salvador, BA**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: petróleo e meio ambiente). 117p. 2011.

BERNINI, E; SILVA, M. A. B. da; CARMO, T. M. S. do; CUZZUOL, G. R. F. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do manguezal do rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n.4, p. 689-699. 2006.

BERNINI, E; REZENDE, C. E. Nutrient Concentrations in Leaves and Sediments at the Mangrove of the Northern Rio de Janeiro State. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, n. 2. 2010.

CALLEGARI –JACQUES, Sidia Mar. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CITRÓN, G; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Introducion a La ecologia del manglar**. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 20p. 1981.

DUKE, N. C., MEYNECKE, J.-O., DITTMANN, S., ELLISON, A. M., ANGER, K., BERGER, U., CANNICCI, S., DIELE, K., EWEL, K.C., FIELD, C.D., KOEDAM, N., LEE, S.Y., MARCHAND, C., NORDHAUS, I., SMITH III, T.J., DAHDUOH-GUEBAS, F. A world without mangroves? **Science**, v. 317, p. 41–42, 2007.

DOMINGUEZ, J. M. L. **Evolução quaternária da planície costeira associada à foz do Rio Jequitinhonha (BA): influência das variações do nível relativo do mar**. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. 1982.

EPSTEIN, P. Mineral metabolism. IN: BONNER, J.; VARNER, J.E. (eds.). **Plant Biochemistry London: Academic Press**, p. 438 - 466. 1965.

GARCIA, K. S; OLIVEIRA, O. M. C. de; QUEIROZ, A. F. de S; ARGOLO, J. L. Geoquímica de Sedimentos de Manguezal em São Francisco do Conde e Madre de Deus BA. **Geochimica Brasiliensis** (Rio de Janeiro), v. 21, p. 164-176, 2007.

GONZALEZ-MENDOZA, D.; CEJA-MORENO, V.; GOLD-BOUCHOT, G. et al. The influence of radical architecture on cadmium bioaccumulation in the black mangrove, *Avicennia germinans* L. **Chemosphere**, v. 67, n. 2, p. 330-4, 2007.

HOPKINS, W. G. **Introduction to Plant Physiology**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000, 512p.

KESHAVARZ, M; MOHAMMADIKIA, D; GHARIBPOUR, F; DABBAGH, A. R. Accumulation of Heavy Metals (Pb, Cd, V) in Sediment, Roots and Leaves of Mangrove Species in Sirik Creek along the Sea Coasts of Oman, Iran. **Journal of Life Science and Biomedicine**. 2(3): 88-91. 2012.

KUMAR, I. J. N.; SAJISH, P. R.; NIRMAL, R.; BASIL, G.; SHAIENDRA, V. An Assessment of the Accumulation Potential of Pb, Zn and Cd by *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. In Vamleshwar Mangroves, Gujarat, India. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 3, n. 1, p. 36-40, 2011.

LIMA, E. S. **Avaliação do potencial para formação de pláceres diamantíferos na região do delta do Rio Jequitinhonha e plataforma continental adjacente no sul da Bahia**. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. 2011.

MACFARLANE, G. R., BURCHETT, M. D. Toxicity, growth and accumulation relationships of copper, lead and zinc in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. **Marine Environmental Research**, v. 54, p. 65–84, 2002.

MARCHAND, C.; FERNANDEZ, J.; MORETON, B. et al. The partitioning of transitional metals (Fe, Mn, Ni, Cr) in mangrove sediments downstream of a ferrallitized ultramafic watershed (New Caledonia). **Chemical Geology**, v. 300-301, p. 70-80. 2012.

NAGELKERKEN, I., BLABER, S.J.M., BOUILLON, S., GREEN, P., HAYWOOD, M., KIRTON, L.G., MEYNECKE, J.-O., PAWLIK, J., PENROSE, H.M., SASEKUMAR, A.,

SOMERFIELD, P.J. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: a review. **Aquat. Bot.**, v. 89, p. 155–185, 2008.

PASSARELI, L. da S. **Composição química e aporte de nutrientes das folhas de serapilheira em um manguezal do norte do estado do Rio de Janeiro.** Monografia. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Centro de Biociências e Biotecnologia. Campos dos Goytacazes – RJ. 2011.

SHIRVANI, M. E; KHAJEH, R. A. E; VAKILI, A. H. Pb and Cd accumulation in *Avicennia marina* from Qeshm Island, Persian Gulf. **Iranian Journal of Fisheries Sciences.** 11(4) 867-875. 2012.

## 6 UTILIZAÇÃO DE FOLHAS DE *Avicennia schaueriana* COMO INDICADORAS DA QUALIDADE AMBIENTAL DE ZONAS DE MANGUEZAL ADJACENTES AO RIO PARDO, COSTA SUL DA BAHIA

**Resumo:** A qualidade ambiental do manguezal do rio Pardo foi avaliada neste estudo através da determinação de elementos químicos em folhas da espécie *A. schaueriana*. A pesquisa foi realizada em duas campanhas no município de Una, sul da Bahia. Foram coletadas 15 unidades de folhas por árvore e os parâmetros foram aferidos na água intersticial do sedimento de suas raízes. As amostras foram submetidas à digestão ácida e, posteriormente, os elementos químicos foram determinados por ICP OES. As maiores concentrações dos analitos determinados nas amostras de folhas foram encontradas na segunda campanha com valores de Eh indicando ambiente redutor, e os de pH, como levemente ácido. Os valores médios dos teores referentes aos macro e microelementos determinados obedeceram a seguinte ordem decrescente: Mg>Na>K>P>Ca>Mn>Fe>Zn>Cu. O teste de correlação de Pearson destacou fortes relações entre Mn e Zn ( $r = 0,71$ ) das folhas e para os elementos determinados no sedimento, sendo Fe com Cu ( $r = 0,77$ ); com Zn ( $r = 0,92$ ) e este com Cu ( $r = 0,84$ ) evidenciando elevada semelhança no potencial de absorção entre si. Além disso, foi verificado um baixo valor para o índice osmótico (K/Na) durante as duas campanhas realizadas, 0,48 e 0,40 respectivamente. Com exceção do Mg, os elementos apresentaram valores de concentrações próximos aos de outros estudos que utilizaram *A. schaueriana* como espécie bioindicadora.

**Palavras-chave:** *Avicennia schaueriana*. Manguezal. Matriz de correlação.

### 6.1 INTRODUÇÃO

Os manguezais são ecossistemas que abrangem áreas entre 160.000 e 200.000 km<sup>2</sup> ao longo de mais de 70% dos litorais tropicais e subtropicais (MARCHAND et al., 2012).

As florestas de manguezal estão entre os ecossistemas terrestres mais produtivos, funcionando como um enorme aporte de alimentos para as comunidades locais de fauna e cadeias alimentares costeiras (KRISTENSEN et al., 2008).

No entanto, o crescimento demográfico, o aumento da urbanização, a expansão das atividades industriais e a exploração dos recursos naturais, têm contribuído diretamente para que os manguezais estejam desaparecendo em um ritmo alarmante (DUKE et al., 2007).

O estado da Bahia apresenta um número considerável de estuários, os quais se encontram num litoral que se estende por aproximadamente 1.180 km representando cerca de 13,2% da costa brasileira. Nesses estuários encontram-se formações de manguezais arbóreos nos quais residem numerosas espécies de elevada relevância socioeconômica. Dentre estas regiões estuarinas, destaca-se a Baía de Todos os Santos e a Baía de Camamu (ALBAGLI; FIGUEREDO, 2011).

Segundo Rodrigues (2005) os maiores bosques estão localizados entre os municípios de Valença e Maráú, e nos municípios de Canavieiras e Caravelas, porém pouco se conhece sobre a imensa área de manguezal distribuída nas zonas litorâneas do Sul e Extremo Sul do Estado.

Os teores dos nutrientes no sedimento de manguezal variam de forma espacial ao longo da zona intertidal (LACERDA et al., 1985). Estas variações estão relacionadas com a frequência de inundação ocasionada pelas marés e ao grau de saturação no sedimento, interferindo no potencial redox (Eh) e na formação e disponibilidade de elementos como Cu, Fe e Zn (BALL, 1988). Pode-se afirmar ainda que a disponibilidade adequada para as plantas destes elementos está relacionada com a água intersticial e as propriedades físico-químicas dessa matriz (BERNINI; REZENDE, 2010).

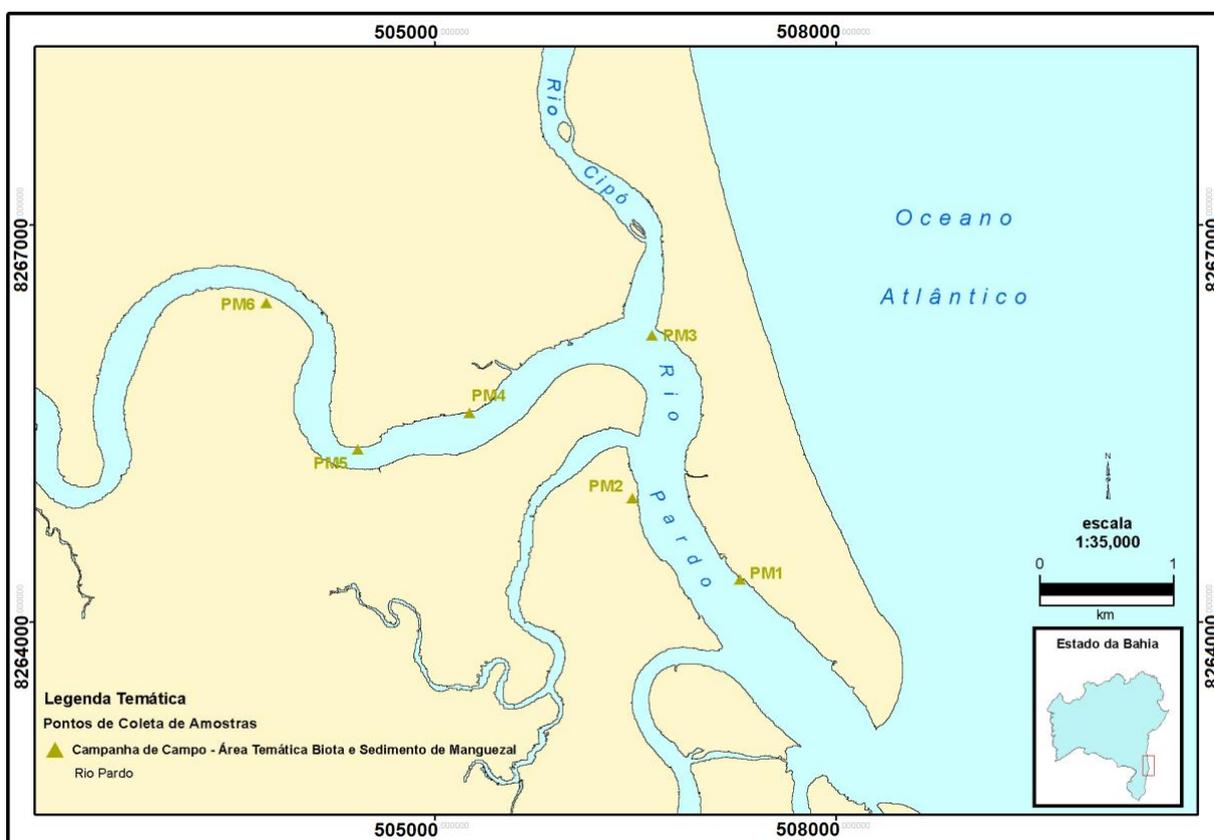
A partir deste contexto, destaca-se que estudos voltados para a composição química de folhas de árvores de manguezal são essenciais para o entendimento da dinâmica de elementos químicos nessas áreas. Para tanto, este trabalho objetiva avaliar a quantidade de metais e nutrientes vitais presentes nas folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman (1939), em termos de distribuição, períodos de coleta e sob a influência de parâmetros não conservativos, como também, apresenta uma verificação da existência de correlações significativas entre as concentrações desses elementos nas folhas e sedimentos de entorno destas árvores dentro da temática biogeoquímica.

## 6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do presente trabalho consistiu em coletas de amostras de folhas da espécie *Avicennia schaueriana* Stapf & Lechman (1939) e sedimentos na extensão do manguezal do rio Pardo (Figura 16), durante dois períodos. A primeira campanha foi realizada em novembro de 2011, e a segunda campanha em abril de 2012, no município de Canavieiras, região litoral sul da Bahia.

Além disso, os parâmetros não conservativos, pH e Eh foram mensurados in situ na água intersticial do sedimento de entorno das raízes das árvores.

**Figura 16** – Pontos de amostragem na região de manguezal do rio Pardo, sul da Bahia. Coordenadas em metros (UTM, WGS84)



O procedimento de coleta consistiu na retirada de 15 folhas verdes a partir do terceiro ramo para cada três árvores selecionadas aleatoriamente (triplicata de campo) resultando em 45 unidades por ponto. Ao total foram seis pontos de coleta e 18 amostras por campanha. As folhas recolhidas foram então armazenadas em sacos plásticos previamente etiquetados.

O substrato lamoso superficial foi coletado dentro de uma malha amostral de cinco pontos no entorno das raízes das árvores do gênero *Avicennia*, as quais foram extraídas as folhas, numa profundidade de 20 cm. Após homogêneas, as amostras compostas de sedimentos (500g) foram armazenadas em frascos de vidro.

Em sequência, as amostras e folhas e sedimentos foram acondicionadas em caixas térmicas preenchidas com gelo para conservação até chegarem ao Laboratório de Estudos do Petróleo (LEPETRO) do Núcleo de Estudos Ambientais

(NEA/IGEO/UFBA), onde foram mantidas congeladas a uma temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  em freezer até o momento da realização das análises.

Posteriormente, as amostras das duas matrizes foram liofilizadas. Para as folhas, pesou-se uma massa de 0,5g das amostras as quais foram submetidas à digestão ácida em forno de micro-ondas com adição de 5 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) concentrado na proporção de 1:1 e 2 mL de peróxido de oxigênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) conforme metodologia ASTM (1992). E para o sedimento, a quantidade de amostra foi de 1g e seguiu o mesmo procedimento para as folhas, utilizando-se 10 mL de  $\text{HNO}_3$ .

Os analitos agrupados em microelementos (Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn, Cd, Pb e V) e macroelementos (Ca, K, Mg, Na e P) foram quantificados por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) utilizando-se o material de referência certificado de folhas de maçã “Apple Leaves” – NIST 1515, cujos resultados apresentaram controle de qualidade satisfatório entre 104,2% a 112,2% de recuperação. O padrão de referência internacional “STSD-4” (*Stream Sediment Samples*) foi usado para as amostras de sedimento, que também apresentaram controle de qualidade satisfatório variando de 92% a 114% de recuperação dos teores.

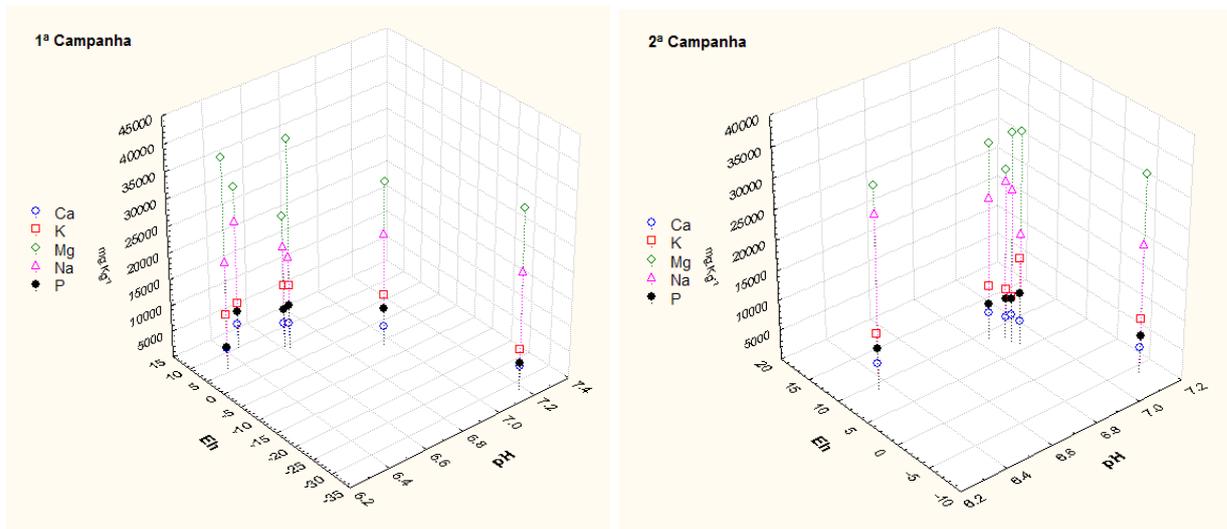
As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa Statistica v.8.0. A homogeneidade dos dados foi verificada através dos cálculos de coeficientes de variação (CV), e para a normalidade foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk. As diferenças significativas quanto à distribuição dos elementos de forma espacial foi realizada através do teste de Tukey e de forma temporal através do teste t. Além disso, foi aplicada a técnica de análise de componentes principais (PCA). O nível de significância adotado foi de 5% com base em Callegari-Jacques (2003).

### 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a leitura dos elementos no ICP OES, as concentrações de Cd ( $<0,003 \text{ mg Kg}^{-1}$ ), Ni ( $<0,0134 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) e V ( $<0,005 \text{ mg Kg}^{-1}$ ) encontraram-se abaixo do limite de quantificação. Os elementos determinados foram então agrupados em macroelementos (Ca, K, Mg, Na e P) e microelementos (Cu, Fe, Mn e Zn) devido a diferença de escala.

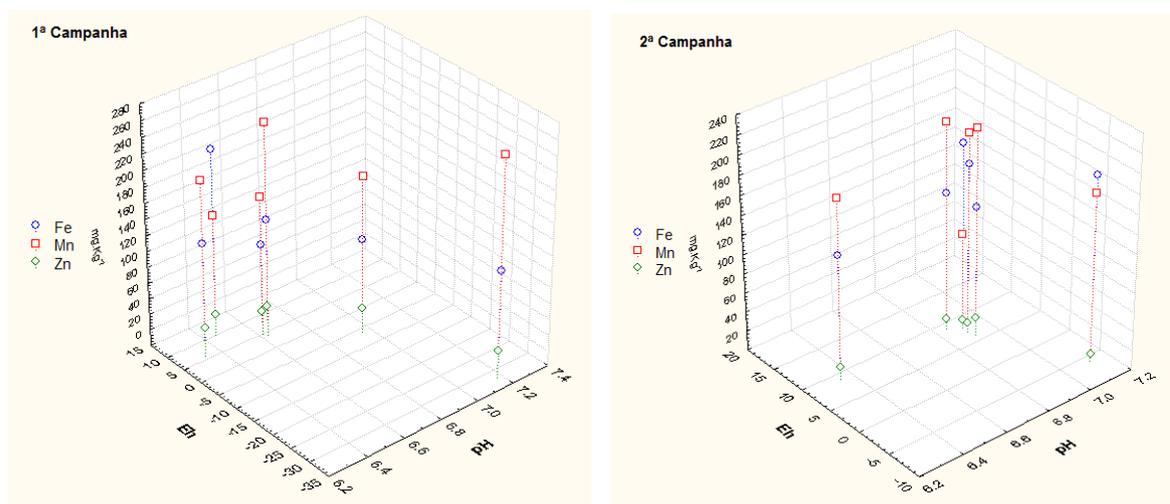
A distribuição dos dados em relação aos parâmetros não conservativos está representada nos gráficos das Figuras 18 e 19.

**Figura 17** – 3D Scatterplot das concentrações médias de Ca, K, Mg, Na e P nas folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman para as duas campanhas do manguezal do rio Pardo vs. pH e Eh



As concentrações dos macronutrientes (Figura 17) foram registradas numa faixa de pH variando entre 6,2 a 7,4 para a primeira campanha e de 6,2 a 7,2, para a segunda. Esta faixa indicou uma leve condição de acidez do ambiente. Estas variações encontram-se dentro dos limites indicados na literatura característicos de ambientes de manguezais, em que a variação do pH em água intersticial do sedimento de manguezal normalmente ocorre de 4,8 a 8,82 (CITRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1981). O potencial redox apresentou altas variações tanto para a primeira (-35 a 15), quanto na segunda campanha (-10 a 20), provavelmente devido à influência direta do movimento das marés.

**Figura 18** – 3D Scatterplot das concentrações médias de Fe, Mn e Zn nas folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman para as duas campanhas do manguezal do rio Pardo vs. pH e Eh



Com relação aos microelementos (Figura 18), suas concentrações também se encontraram numa faixa de pH indicando ambiente levemente ácido. E em função do parâmetro não conservativo Eh, sob as mesmas condições de elevadas variações. Observa-se que para o município de Canavieiras as maiores concentrações foram encontradas na primeira campanha.

A comparação das concentrações determinadas nas folhas de *Avicennia schaueriana* deste trabalho foi comparada com outros estudos realizados com esta mesma espécie (Tabela 12) e de uma forma geral, observou-se que os teores dos elementos Ca, Fe e K quantificados no presente trabalho apresentaram valores bem próximos, tanto para a primeira quanto a para a segunda campanha aos encontrados pelos autores Bernini et al., (2006), Epstein, (1965), Hopkins, (2000) e Passareli (2011).

Os elementos Mg, Mn, Na e P apresentaram concentrações bem elevadas em comparação aos estudos mencionados. As concentrações determinadas para o Cu foram significativamente baixas em relação a todos os estudos e, as de Zn foram delimitadas pelos os estudos de Bernini et al., (2006) e Hopkins, (2000).

As elevadas concentrações encontradas neste trabalho para o Na pode ser explicada pelo fato de que espécies excretoras de sais pertencentes ao gênero *Avicennia* possuem xilema capaz de suportar concentrações salinas dez vezes maior que a *Rhizophora* (PASSARELI, 2011).

Já Lacerda et al., (1985) afirmaram que os teores de Na para a *Avicennia schaueriana* variam em função da salinidade do sedimento e que a absorção de Ca seja controlada pelo nível de Na também no sedimento. Não foram verificadas fortes correlações para estes dois elementos.

Lacerda et al., (1986) registraram uma concentração de 22900 mg Kg<sup>-1</sup> para *Avicennia schaueriana*, e Araújo (2000) uma concentração de 18100 mg Kg<sup>-1</sup> para esta espécie.

Neste trabalho, os teores médios registrados de Na foram de 20822,34 mg Kg<sup>-1</sup> para a primeira campanha e de 24061,01 mg Kg<sup>-1</sup> para a segunda, o que permite observar uma proximidade com os valores relatados nestes estudos.

**Tabela 11** – Comparação dos teores dos elementos químicos em mg Kg<sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas nas folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman do manguezal do rio Pardo, Canavieiras, Bahia com outros estudos

		Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Cu	Zn
1a campanha	1,1	4408,10	115,57	7715,79	33971,26	254,99	22394,74	5079,28	0,10	14,62
	2,1	3398,17	99,94	9718,80	31013,47	178,17	21221,25	6978,97	3,18	11,19
	3,1	3926,43	123,77	10261,56	39468,69	201,12	20380,09	3941,72	1,02	16,16
	4,1	4744,80	127,96	12151,02	39334,61	247,14	17603,90	8333,16	0,31	18,64
	5,1	4545,60	95,51	11853,84	24842,02	154,77	19191,69	7190,09	1,03	9,61
	6,1	4568,93	215,13	8679,59	30629,25	133,48	24142,37	7017,22	0,30	7,92
	$\mu$	4265,34	129,65	10063,43	33209,88	194,95	20822,34	6423,41	0,99	13,02
CV	11,90	33,78	17,30	16,97	25,17	11,13	24,97	115,43	31,66	
2a campanha	1,2	4395,31	143,55	8926,00	32491,73	214,95	23661,85	5760,07	0,44	10,98
	2,2	4401,26	128,57	9417,47	33408,97	185,19	29041,65	7012,72	1,07	12,67
	3,2	4501,41	175,46	7701,08	34654,43	206,97	25464,19	7310,08	0,546	10,35
	4,2	3918,43	134,64	14541,59	35366,38	214,04	18684,23	8608,42	1,53	18,64
	5,2	4089,81	191,84	9071,91	32649,30	173,97	21354,08	6102,64	0,73	8,64
	6,2	3505,90	193,00	8141,69	28108,80	99,35	26160,07	6631,03	1,09	9,27
	$\mu$	4135,35	161,18	9633,29	32779,94	182,41	24061,01	6904,16	0,90	11,76
CV	9,16	18,06	25,81	7,78	24,07	15,28	14,64	45,16	31,06	
Estudos	<b>NN</b>	ND	ND	ND	ND	<b>15-100</b>	ND	ND	<b>4,0-15</b>	<b>8-400</b>
	<b>NT</b>	ND	ND	ND	ND	<b>300-500</b>	ND	ND	<b>20-100</b>	<b>400</b>
	<b>(Ber)</b>	<b>3903,59</b>	<b>147,98</b>	<b>12777,22</b>	<b>13076,09</b>	<b>100,5</b>	ND	<b>1499,09</b>	<b>1,90</b>	<b>10,46</b>
	<b>(Pas)</b>	<b>4960</b>	ND	<b>11420</b>	<b>8470</b>	ND	<b>8370</b>	<b>770</b>	ND	ND
	<b>(Eps)</b>	<b>5000</b>	<b>100</b>	<b>10000</b>	<b>2000</b>	<b>50</b>	ND	<b>2000</b>	<b>6</b>	<b>20</b>
	<b>(Hop)</b>	<b>5000,75</b>	<b>111,69</b>	<b>9774,5</b>	<b>1944,4</b>	<b>54,93</b>	<b>9195</b>	<b>1858,38</b>	<b>6,354</b>	<b>19,61</b>

Legenda:  $\mu$  = média das médias, ou média populacional; CV = coeficiente de variação; NN = níveis normais de metais em plantas, segundo ROSS, 1994; NT = níveis tóxicos de metais em plantas, segundo ROSS, 1994; (Ber) = concentrações médias de elementos químicos de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman, segundo Bernini, et al., 2006; (Pas) = concentrações médias anuais de elementos químicos para *Avicennia germinans* segundo Passarelli, 2011; (Eps) = concentrações típicas para o crescimento das plantas segundo Epstein, 1965; (Hop) = concentrações de elementos essenciais para o crescimento normal da planta segundo Hopkins, 2000; ND = não determinado.

Outra explicação para os altos valores de Na neste trabalho, pode ser justificada também pelo fato de que as espécies do gênero *Avicennia* possuem mecanismos excretadores de sais que acumulam seletivamente o íon Na<sup>+</sup>, mesmo que esses íons estejam sob baixas concentrações no meio (WIN; GORHAM, 1983; GARCIA, 2005).

A razão K/Na é um índice da capacidade da planta de absorver K na presença de altas concentrações de Na, por estarem envolvidos no balanço osmótico das plantas (MEDINA; FRANCISCO, 1997).

Neste estudo, a razão K/Na para a primeira campanha foi de 0,48 e para a segunda de 0,40 e são inferiores aos valores encontrados por Bernini e Rezende (2010), em que K/Na foi de 0,95 a 1,30. Com base neste estudo mencionado, pode-se observar que ocorreu uma redução do potencial osmótico, o que diminuiu a taxa

de transferência de K para as folhas e justifica suas concentrações relativamente baixas em comparação a Bernini et al., (2006).

Os teores de Mg variam de 1000 a 10000 mg Kg<sup>-1</sup> de matéria seca da planta, considerando-se teores entre 3000 e 5000 mg Kg<sup>-1</sup> como adequados para um crescimento normal e teores foliares menores de 3000 mg.Kg<sup>-1</sup> para plantas deficientes (MALAVOLTA, 1986; SOUZA, 2008). Para o Mg, os valores médios encontrados neste trabalho variaram de 33209,88 a 32779,94 mg Kg<sup>-1</sup> e foram bem superiores aos demais estudos. Segundo Araújo (2000) quando os níveis de Mg<sup>2+</sup> são elevados o processo fotossintético de clorofila cessa, o que prejudica o desenvolvimento da planta.

Lacerda et al., (1985) e Medina e Francisco (1997) relataram que as elevadas concentrações de K e Mg para a *Avicennia germinans* e *Avicennia schaueriana* são devido a maior permeabilidade nas raízes destas espécies a sais. Esta é uma característica peculiar do mecanismo de excreção de sais, através das glândulas salinas existentes nas folhas, sendo essas espécies consideradas excretoras (ARAÚJO, 2000).

O P, assim como o K são elementos químicos dificilmente absorvidos, sendo redistribuídos de órgãos maduros, para órgãos em desenvolvimento e reprodutores (OLIVEIRA et al., 1996). A concentração de P nas folhas é menor que a de K (CAMARGO, 1970). Esta afirmação confere neste trabalho, pois os teores de fósforo foram menores que os de potássio (Tabela 12).

A deposição de óxidos e hidróxidos de manganês e ferro é favorecida pela respiração das raízes de plantas de manguezal. Neste processo ocorre a transformação do sulfeto em sulfato, o que reduz a toxidez e finalmente forma uma placa de ferro na superfície da raiz (LEÃO, 2004; GONÇALVES, 2010). Entretanto, segundo Lacerda (1984) e Lacerda et al., (1988), o Mn não forma sulfetos estáveis e por isso é facilmente solubilizado sob condições redutoras ou anóxicas típicas de manguezal, e tornam-se biodisponíveis às plantas quando comparados a outros metais. Este fato pode justificar as elevadas concentrações do Mn em relação a Bernini et al., (2006) e Ross (1994), e até 3 vezes quando comparado a Epstein, (1965) e Hopkins, (2000).

O teste de correlação de Pearson (r) (Tabela 13) evidenciou fortes associações entre Mn com Zn (r = 0,71) das folhas e entre os elementos determinados no sedimento Fe e Zn (r = 0,92), e Cu (r = 0,77), além de, Zn e Cu (r =

0,84), os quais apresentaram fortes correlações entre si. Isto pode sugerir que processos geoquímicos semelhantes controlam a distribuição desses elementos na área de estudo.

**Tabela 12** – Matriz de correlação entre as concentrações dos elementos químicos determinados nas folhas de *Avicennia schaueriana* e sedimentos de entorno, do manguezal do rio Pardo

	<i>Fe-FH</i>	<i>Mn-FH</i>	<i>Zn-FH</i>	<i>Cu-FH</i>	<i>Fe-SD</i>	<i>Mn-SD</i>	<i>Zn-SD</i>	<i>Cu-SD</i>
Fe-FH	1,00							
Mn-FH	-0,50	1,00						
Zn-FH	-0,51	<b>0,71</b>	1,00					
Cu-FH	-0,39	-0,24	0,00	1,00				
Fe-SD	0,53	-0,50	-0,30	0,06	1,00			
Mn-SD	0,38	-0,04	-0,24	-0,18	0,47	1,00		
Zn-SD	0,56	-0,42	-0,29	-0,02	<b>0,92</b>	0,39	1,00	
Cu-SD	0,59	-0,42	-0,39	-0,04	<b>0,77</b>	0,10	<b>0,84</b>	1,00

A formação de "placas de ferro" sobre a raiz regula a dinâmica de alguns elementos considerados tóxicos às plantas de manguezal, dentre eles, o Cu mesmo quando as raízes apresentam elevados teores deste elemento em sua estrutura (FONSECA, 1993).

Os teores de Cu encontrados nas folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman para o manguezal de estudo estão bem abaixo da faixa de normalidade estabelecida por Ross (1994), Epstein, (1965), Hopkins, (2000) e das demais referências citadas na Tabela 11, aproximando-se apenas do valor encontrado por Bernini et al., (2006).

A presença de placas de ferro nas raízes de plantas de manguezal também funciona como uma barreira a translocação do zinco das plantas para o sedimento numa concentração de 350 mg Kg<sup>-1</sup>. No entanto, para valores superiores, o Zn concentra-se fora das raízes (GONÇALVES, 2010). Os teores de zinco determinados neste trabalho estão dentro dos limites considerados normais de acordo com Ross (1994) e próximos para a maior parte das referências.

#### 6.4 CONCLUSÕES

O elemento magnésio apresentou as maiores concentrações em relação aos demais elementos; a sequência das concentrações em ordem decrescente se deu a

partir do Mg, Na, K, P até o Ca; as faixas de pH indicaram ambiente com leve acidez, tendendo a neutro; as faixas de Eh indicaram ambiente ora redutor ora oxidante, apresentando elevadas variações que podem ser justificadas tanto pela influência do regime das marés, quanto pela distância entre os pontos de coleta.

A distribuição das concentrações dos elementos determinados nas folhas do gênero *Avicennia* em geral foi maior na primeira campanha, e com menores valores de acidez provenientes de precipitações que ocorreram no local no período de novembro de 2011, e que propiciaram a disponibilização destes elementos aos ambientes marinhos adjacentes.

## 6.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e a Queiroz Galvão S.A. pelo apoio financeiro através do projeto “Diagnóstico geoambiental de zonas de manguezal e desenvolvimento de processos tecnológicos aplicáveis a remediação dessas zonas: subsídios a um Programa de Prevenção de Impactos em Áreas com Potencial para Atividades Petrolíferas na Região Litoral Sul do Estado da Bahia – PETROTECMANGUE-BASUL.

## 6.6 REFERÊNCIAS

ALBAGLI, I; FIGUEREDO, J. **Bahia Pesca: Aqüicultura e pesca para o desenvolvimento da Bahia**, Salvador, 2011. Disponível em: <<http://www.bahiapesca.ba.gov.br/bahia-pesca>>. Acesso em: 31 ago. 2011.

ARAÚJO, B. R. N. **Diagnóstico Geoambiental de Zonas de Manguezal do manguezal do rio Itanhém, Município de Alcobaça – Região do Estremo Sul do Estado da Bahia**. 159f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahia. 2000.

ASTM. **American Society for Testing and Materials. Standard practice for Extraction of Trace Elements From Sediments**. Annual book of ASTM standards. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials. (Designation: D5258 – 92 – Reapproved 1996). Vol.11 (02). 1992.

BALL, M. C. **Ecophysiology of mangroves**. *Trees*, 2, p. 129-142. 1988.

BERNINI, E; SILVA, M. A. B. da; CARMO, T. M. S. do; CUZZUOL, G. R. F. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do manguezal do rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n.4, p. 689-699. 2006.

BERNINI, E; REZENDE, C. E. Nutrient Concentrations in Leaves and Sediments at the Mangrove of the Northern Rio de Janeiro State. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, n. 2. 2010.

CALLEGARI –JACQUES, Sidia Mar. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CAMARGO, P. N. **Princípios de nutrição foliar**. Editora Agronômica Ceres, 118p. 1970.

CITRÓN, G; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Introduction a La ecologia del manglar**. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 20p. 1981.

DUKE, N. C., MEYNECKE, J.-O., DITTMANN, S., ELLISON, A. M., ANGER, K., BERGER, U., CANNICCI, S., DIELE, K., EWEL, K.C., FIELD, C.D., KOEDAM, N., LEE, S.Y., MARCHAND, C., NORDHAUS, I., SMITH III, T.J., DAHDUOH-GUEBAS, F. A world without mangroves? **Science**, v. 317, p. 41–42, 2007.

EPSTEIN, P. Mineral metabolism. IN: BONNER, J.; VARNER, J.E. (eds.). **Plant Biochemistry London: Academic Press**, p. 438 - 466. 1965.

FONSECA, K. T. **Biogeoquímica de metais pesados na rizosfera de plantas de manguezal do Rio de Janeiro**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Fluminense. 62p. 1993.

GARCIA, K. S. **Estudos biogeoquímicos em folhas de *Avicennia shaueriana* Stapf & Leechman em zonas de manguezal da região de São Francisco do Conde e Madre de Deus-BA**. 2005. Dissertação (Mestrado em geoquímica ambiental). Instituto de geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, BA. 2005.

GONÇALVES, M. V. P. **Análise de plantas de mangue como bioindicadoras da qualidade ambiental nas ilhas de Tinharé e Boipeba, município de Cairu, Bahia, Brasil**. Dissertação de mestrado. 144p. 2010.

HOPKINS, W. G. **Introduction to Plant Physiology**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000, 512p.

KRISTENSEN, E., BOUILLON, S., DITTMAR, T., MARCHAND, C., 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystem. **Aquat. Bot.**, v. 89, n. 2, p. 210–219, 2008.

LACERDA, L. D. Manguezais: florestas de beira mar. **Ciência Hoje**, ed. 3, p. 63-70. 1984.

LACERDA, L. D., MARTINELLI, L. A., REZENDE, C. A., MOZETTO, A. A., OVALLE, A. R. C., VICTORIA, R. I., SILVA, C. A. R., NOGUEIRA, F. B. The fate of heavy metals in suspended matter in a mangrove creek during a tidal cycle. **Sci. Total Environ.**, v. 75, p. 249–259, 1988.

LACERDA, L. D., REZENDE, C. E., JOSÉ, D. M. V.; WASSERMAN, J. C.; FRANCISCO, M. C. F., MARTINS, J. C. Mineral concentration in leaves of mangrove trees. **Biotropica**. 17. p. 260-262. 1985.

LACERDA, L. D., REZENDE, C. E., JOSÉ, D. M. V., FRANCISCO, M. C. F. Metallic composition of mangrove leaves from the southeastern brazilian coast. **Revista Brasileira Biologia**. V. 46, p. 95-399. 1986.

LEÃO, C. da S. **Caracterização Geoambiental de Zonas de Manguezal da Baía de Aratu, Bahia, Brasil**. 124f. Dissertação de mestrado - Instituto de Geoquímica e Meio Ambiente, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2004.

MALAVOLTA, E. **Nutrição, Adubação e calagem para o cafeeiro**. In: RENA, A. B. Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisas da Potassa e do Fosfato, 1986. 447p.

MARCHAND, C.; FERNANDEZ, J.; MORETON, B. et al. The partitioning of transitional metals (Fe , Mn , Ni , Cr) in mangrove sediments downstream of a ferrallitized ultramafic watershed (New Caledonia). **Chemical Geology**, v. 300-301, p. 70-80. 2012.

MEDINA, E; FRANCISCO, A. M. Osmolaty and <sup>13</sup>C of leaves tissues of mangrove species from environments of contrasting rainfall and salinity. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 45, p.337-344. 1997.

OLIVEIRA, S. S; FREITAS, H. M; ACCIOLY, M. C. Composição química das folhas de *Avicennia germinans* (L.) Stearn, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. e *Rhizophora mangle* L. e solo do manguezal do rio Mucuri-Ba, sob ação de resíduos industriais. **Sitientibus**, v. 15, p.133-150. 1996.

PASSARELI, L. da S. **Composição química e aporte de nutrientes das folhas de serapilheira em um manguezal do norte do estado do Rio de Janeiro**. Monografia. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Centro de Biociências e Biotecnologia. Campos dos Goytacazes – RJ. 2011.

RODRIGUES, K. M. R. **Estudos Biogeoquímicos Utilizando Folhas do Gênero *Avicennia* como Indicadora de Impactos Ambientais na Região Petrolífera de São Francisco do Conde – Bahia**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 168p. 2005.

ROSS, S.M. **Toxic metals in soil-plant systems**. John Wily & Sons, New York. 1994. 484p.

SOUZA, H. de. Teores e concentrações de cálcio e magnésio no cafeeiro ecpado em função de doses e fontes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. 2008. 51 f. **Trabalho de Conclusão**. Curso

Superior de Tecnologia em Cafeicultura (Graduação) - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, 2008.

WIN, J. R. G.,GORHAM, J. Osmorregulation. I: LANGE, O.L. et al. **Encyclopedi of plant physiology**. Berlim: Spring-Verlag, p35-58. 1983.

## 7 CONCLUSÕES

Os testes estatísticos aplicados demonstraram que os dados apresentaram distribuição normal e elevada homocedasticidade. Verificou-se também que não ocorreram diferenças significativas quanto à variação espaço-temporal na distribuição das concentrações médias dos analitos quantificados nas folhas das duas espécies e sedimentos de entorno, após aplicação do teste t, o que pode significar uma distribuição bastante homogênea ao longo dos seis pontos de coleta na extensão do manguezal e devido à similaridade do regime pluviométrico registrado nos períodos em questão.

Os valores do potencial hidrogênico encontraram-se dentro do limite indicado na literatura, já as faixas do potencial redox indicaram ambiente ora redutor ora oxidante, apresentando elevadas variações que podem ser justificadas tanto pela influência do regime das marés, quanto pela distância entre os pontos de coleta.

Para os teores determinados no sedimento, verificou-se que há correlação de todos os metais entre si, sugerindo que processos geoquímicos semelhantes controlam a distribuição desses elementos na área de estudo.

A análise da matriz de correlação de Pearson, de uma forma geral mostrou que não ocorreram fortes correlações entre metais e nutrientes das folhas de *Avicennia schaueriana* e *Avicennia germinans* com os elementos do sedimento de entorno dessas árvores.

E os baixos valores dos fatores de concentração reforçaram a elevada seletividade das plantas de mangue na translocação de elementos químicos que podem ser nocivos ao seu desenvolvimento.

### 7.1 Recomendação

- Utilização de ferramentas de SIG a fim de identificar as atividades antrópicas que, por ventura, possam oferecer risco de impacto ambiental às regiões de manguezal de estudo.

## REFERÊNCIAS

ALBAGLI, I; FIGUEREDO, J. **Bahia Pesca: Aqüicultura e pesca para o desenvolvimento da Bahia**, Salvador, 2011. Disponível em: <<http://www.bahiapescas.ba.gov.br/bahia-pesca>>. Acesso em: 31 ago. 2011.

AGORAMOORTHY, G; CHEN, F. A; HSU, M. J. Threat of heavy metal pollution in halophytic and mangrove plants of Tamil Nadu, India. **Environ Pollut.** v. 155. 320-326p. 2008.

ANDRADE, C. L. N. de. **Biogeoquímica do ambiente estuarino do rio Passa Vaca em área urbana de Salvador, BA**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: petróleo e meio ambiente). 117p. 2011.

ARAÚJO, B. R. N. **Diagnóstico Geoambiental de Zonas de Manguezal do manguezal do rio Itanhém, Município de Alcobaça – Região do Extremo Sul do Estado da Bahia**. 159f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahia. 2000.

ASTM. **American Society for Testing and Materials. Standard practice for Extraction of Trace Elements From Sediments**. Annual book of ASTM standards. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials. (Designation: D5258 – 92 – Reapproved 1996). V.11, n. 02. 1992.

BALL, M. C. Ecophysiology of mangroves. **Trees**, v. 2, p. 129-142. 1988.

BERNINI, E; SILVA, M. A. B. da; CARMO, T. M. S. do; CUZZUOL, G. R. F. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do manguezal do rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n.4, p. 689-699. 2006.

BERNINI, E; REZENDE, C. E. Nutrient Concentrations in Leaves and Sediments at the Mangrove of the Northern Rio de Janeiro State. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, n. 2. 2010.

BORREL, Brendan. The mystery of mangroves. **Nature Conservancy Magazine**, 2010. Disponível em: <[http://math.ucr.edu/home/baez/diary/june\\_2010.html](http://math.ucr.edu/home/baez/diary/june_2010.html)>. Acesso em: 30 jun. 2012.

BOUILLON, S., BORGES, A. V., CASTAÑEDA-MOYA, E., DIELE, K., DITTMAR, T., CHE, R.G.O. Concentration of 7 heavy metals in sediments and mangrove root samples from Mai Po, Hong Kong. **Marine Pollution Bulletin**, v. 39 (1–12), p. 269–279, 1999.

CALLEGARI –JACQUES, Sidia Mar. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CAMARGO, P. N. **Princípios de nutrição foliar**. Editora Agronômica Ceres, 118p. 1970.

CITRÓN, G; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Introduction a La ecologia del manglar**. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 20p. 1981.

CUZZUOL, G. R. F; CAMPOS, A. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do manguezal do rio Mucuri, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, ed. 2, v. 24, p. 227-234. 2001.

CRUZ, F. da C. **Determinação de valores de background de metais em sedimento de manguezal das cidades de Una, Canavieiras e Belmonte**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA. 2013.

DENNIS, E. J. **Micronutrientes**: uma nova dimensão na agricultura. 2ed. Fundação Cargill, 50p. 1987.

DUKE, N. C., MEYNECKE, J.-O., DITTMANN, S., ELLISON, A. M., ANGER, K., BERGER, U., CANNICCI, S., DIELE, K., EWEL, K.C., FIELD, C.D., KOEDAM, N., LEE, S.Y., MARCHAND, C., NORDHAUS, I., SMITH III, T.J., DAHDUOH-GUEBAS, F. A world without mangroves? **Science**. v. 317, p. 41–42, 2007.

DOMINGUEZ, J. M. L. **Evolução quaternária da planície costeira associada à foz do Rio Jequitinhonha (BA): influência das variações do nível relativo do mar**. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. 1982.

EPSTEIN, P. Mineral metabolism. IN: BONNER, J.; VARNER, J.E. (eds.). **Plant Biochemistry**. London: Academic Press, p. 438 - 466. 1965.

FONSECA, K. T. **Biogeoquímica de metais pesados na rizosfera de plantas de manguezal do Rio de Janeiro**. 1993. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) - Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. 62p. 1993.

FURUKAWA, K., WOLANSKI, E., MUELLER, H. Currents and sediment transport in mangrove forests. **Estuar. Coast. Shelf Sci.**, v. 44, p. 301–310, 1997.

GAIÃO, L. de O. **Saberes tradicionais e percepção ambiental dos catadores de caranguejos do município de Canavieiras, Bahia, acerca do guaiamum, *Cardisoma guanhumi* (Latreille, 1825)**. 2007. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente), Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA. 2007.

GARCIA, K. S. **Estudos biogeoquímicos em folhas de *Avicennia shaueriana* Stapf & Leechman em zonas de manguezal da região de São Francisco do Conde e Madre de Deus-BA**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA. 2005.

GARCIA, K. S; OLIVEIRA, O. M. C. de; QUEIROZ, A. F. de S; ARGOLO, J. L. Geoquímica de Sedimentos de Manguezal em São Francisco do Conde e Madre de Deus BA. **Geochimica Brasiliensis** (Rio de Janeiro), v. 21, p. 164-176, 2007.

GONÇALVES, M. V. P. **Análise de plantas de mangue como bioindicadoras da qualidade ambiental nas ilhas de Tinharé e Boipeba, município de Cairu, Bahia, Brasil.** 2010. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA. 144p. 2010.

GONZALEZ-MENDOZA, D.; CEJA-MORENO, V.; GOLD-BOUCHOT, G. et al. The influence of radical architecture on cadmium bioaccumulation in the black mangrove, *Avicennia germinans* L. **Chemosphere**, v. 67, n. 2, p. 330-4, 2007.

HOPKINS, W. G. **Introduction to Plant Physiology.** 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000, 512p.

IGNÁCIO, G. M; DOMINGUES, D; KOTLER, L; LANA, P. C; CARRILHO, J. C. Variação nos níveis de herbivoria foliar em dois manguezais da BAÍA DE Paranaguá (Paraná – Brasil). **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, ed. 2, v. 9, p. 1-4. 2005.

KRISTENSEN, E., BOUILLON, S., DITTMAR, T., MARCHAND, C., 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystem. **Aquat. Bot.**, v. 89, n. 2, p. 210–219, 2008.

KUMAR, I. J. N.; SAJISH, P. R.; NIRMAL, R.; BASIL, G.; SHAIENDRA, V. An Assessment of the Accumulation Potential of Pb, Zn and Cd by *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. In Vamleshwar Mangroves, Gujarat, India. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 3, n. 1, p. 36-40, 2011.

KESHAVARZ, M; MOHAMMADIKIA, D; GHARIBPOUR, F; DABBAGH, A. R. Accumulation of Heavy Metals (Pb, Cd, V) in Sediment, Roots and Leaves of Mangrove Species in Sirik Creek along the Sea Coasts of Oman, Iran. **Journal of Life Science and Biomedicine.** v. 2, n. 3, p. 88-91. 2012.

LACERDA, L. D. Manguezais: florestas de beira mar. **Ciência Hoje**, ed. 3, p. 63-70. 1984.

LACERDA, L. D., MARTINELLI, L. A., REZENDE, C. A., MOZETTO, A. A., OVALLE, A. R. C., VICTORIA, R. I., SILVA, C. A. R., NOGUEIRA, F. B. The fate of heavy metals in suspended matter in a mangrove creek during a tidal cycle. **Sci. Total Environ.**, v. 75, p. 249–259, 1988.

LACERDA, L. D., REZENDE, C. E., JOSÈ, D. M. V.; WASSERMAN, J. C.; FRANCISCO, M. C. F., MARTINS, J. C. Mineral concentration in leaves of mangrove trees. **Biotropica.** 17. p. 260-262. 1985.

LACERDA, L. D., REZENDE, C. E., JOSÈ, D. M. V., FRANCISCO, M. C. F. Metallic composition of mangrove leaves from the southeastern brazilian coast. **Revista Brasileira Biologia**, v. 46, p. 95-399, 1986.

LEÃO, C. da S. **Caracterização geoambiental de zonas de manguezal da baía de Aratu, Bahia, Brasil**. 2004. 124f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geoquímica e Meio Ambiente, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2004.

LIMA, E. S. **Avaliação do potencial para formação de pláceres diamantíferos na região do delta do Rio Jequitinhonha e plataforma continental adjacente no sul da Bahia**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 2011.

LOPES, P. R. D; OLIVEIRA-SILVA, J. T. de; FERREIRA-MELO, A. S. A. Contribuição ao conhecimento da ictiofauna do manguezal de Cacha-Pregos, Ilha de Itaparica, Baía de Todos os Santos, Bahia. **Revista Brasileira de Zoologia**. v. 15, n. 2, p. 315-325, 1998.

MACFARLANE, G. R., BURCHETT, M. D. Toxicity, growth and accumulation relationships of copper, lead and zinc in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. **Marine Environmental Research**, v. 54, p. 65–84, 2002.

MALAVOLTA, E. **Nutrição, Adubação e calagem para o cafeeiro**. In: RENA, A. B. Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisas da Potassa e do Fosfato, 1986. 447p.

MALAVOLTA, E; VITTI, G. C; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. Ed. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1997. 319p.

MARCHAND, C.; FERNANDEZ, J.; MORETON, B. et al. The partitioning of transitional metals (Fe , Mn , Ni , Cr) in mangrove sediments downstream of a ferralitized ultramafic watershed (New Caledonia). **Chemical Geology**, v. 300-301, p. 70-80. 2012.

MEDINA, E; FRANCISCO, A. M. Osmolaty and <sup>13</sup>C of leaves tissues of mangrove species from environments of contrasting rainfall and salinity. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 45, p.337-344. 1997.

NAGELKERKEN, I., BLABER, S.J.M., BOUILLON, S., GREEN, P., HAYWOOD, M., KIRTON, L.G., MEYNECKE, J.-O., PAWLIK, J., PENROSE, H.M., SASEKUMAR, A., SOMERFIELD, P.J. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: a review. **Aquat. Bot.**, v. 89, p. 155–185, 2008.

NISSENBAUM, A., SWAINE, D.J. Organic–metal interactions in recent sediments: the role of humic substances. **Geochim. Cosmochim. Acta**, v. 40, p. 809–816, 1976.

OLIVEIRA, O. M. C. **Diagnóstico geoambiental em zonas de manguezal da Baía de Camamu-BA**. 2000. 249f. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói, RJ. 2000.

OLIVEIRA, S. S; FREITAS, H. M; ACCIOLY, M. C. Composição química das folhas de *Avicennia germinans* (L.) Stearn, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. e

*Rhizophora mangle* L. e solo do manguezal do rio Mucuri-Ba, sob ação de resíduos industriais. **Sitientibus**, v. 15, p.133-150. 1996.

PASSARELI, L. da S. **Composição química e aporte de nutrientes das folhas de serapilheira em um manguezal do norte do estado do Rio de Janeiro**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes – RJ. 2011.

RAMOS, M. G. M. **Determinação dos Teores de Metais Pesados em Plantas Típicas dos Mangues do Rio Cubatão, SP**. 2005. 41f. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva), Universidade Católica de Santos. 2005.

RODRIGUES, K. M. R. **Estudos Biogeoquímicos Utilizando Folhas do Gênero *Avicennia* como Indicadora de Impactos Ambientais na Região Petrolífera de São Francisco do Conde – Bahia**. 2005. 168p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA. 2005.

ROSS, S.M. **Toxic metals in soil-plant systems**. John Wily & Sons, New York. 1994. 484p.

SALISBURY, F. B; ROSS, C. W. **Plant physiology**. **Wadsworth Publishing Company**, Belmont. 1992.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Ecosistema entre a terra e o mar**. São Paulo: Editora Carabbean Ecological Research. p. 7-21. 1995.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Manguezais brasileiros: região sudeste-sul. In: SIMPÓSIO DA COSTA SUL E SUDESTE: SÍNTESE DOS CONHECIMENTOS, 1987, Cananéia. **Anais...** Cananéia: ACIESP, v.1, p. 78. 1987.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y; CINTRÓN, G. Guia para estudo de áreas de manguezal, estrutura, função e flora. **Caribbean Ecological Research**, São Paulo, 150p. 1986.

SHIRVANI, M. E; KHAJEH, R. A. E; VAKILI, A. H. Pb and Cd accumulation in *Avicennia marina* from Qeshm Island, Persian Gulf. **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, v. 11, n. 4, p. 867-875, 2012.

SILVA, J. M.; MARTINS, M. B. G.; CAVALHEIRO, A. J. Caracterização anatômica e perfis químicos de folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leech. ex Moldenke e *Rhizophora mangle* L. de manguezais impactados e não impactados do litoral paulista. **Revista de Botânica**, v. 39, p. 14-33. 2010.

SOUZA, H. de. **Teores e concentrações de cálcio e magnésio no cafeeiro ecegado em função de doses e fontes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**. 2008. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, 2008.

TAM, N. F. Y., WONG, Y. S. Spatial and temporal variations of heavy metal contamination in sediments of a mangrove swamp in Hong Kong. **Marine Pollution Bulletin**, v. 31, p. 54–261, 2000.

THOMAS, C., EONG, O.J. Effects of the heavy metals Zn and Pb on *R. mucronata* and *A. alba* seedlings. In: Soepadmo, E., Rao, A.M., MacIntosh, M.D. (Eds.), Proceedings of the Asian Symposium on Mangroves and Environment; **Research and Management**. ISME, Malaysia, p. 568–574, 1984.

TOMLINSON, P. B. **The Botany of Mangroves**. Cambridge University Press, Cambridge. Botany Department, British Museum (Natural History), London, UK. 413p. 1986.

VIDAL-TORRADO, P; FERREIRA, T. O; OTERO, X. L; SOUZA-JR.,V.S; FERREIRA, F. P. Solos de mangue: características, gênese e impactos antrópicos. In: COLLEGE OF AGRICULTURE, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2005.

VIEIRA, B. P. **Projeto Manguezal**. Estudo de Resíduos Sólidos Urbanos no Manguezal de Ratoles, Região do Pontal de Jurerê, Florianópolis - SC. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Ecologia e Zoologia, Florianópolis - SC. 2013. Disponível em: <<http://www.projetomanguezal.ufsc.br/contact.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

WYN JONES, R.G., GORHAM, J. Osmorregulation. **Encyclopedia of plant physiology, new series**. v. 12, New York: Springer-Verlag, 1983. p. 35-58.

WONG, Y. S; TAM, N. F. Y. Accumulation and distribution of heavy metals in a simulated mangrove system treated with sewage. **Hydrobiologia**. v. 352, 67–75p. 1997.

**Apêndice I** – Tabelas das concentrações médias por manguezal dos elementos químicos determinados nas folhas

**Tabela 13** – Concentrações médias em mg Kg<sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas dos elementos químicos determinados nas folhas de *Avicenia schaueriana* do manguezal do rio Una, Una, Bahia

		Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Zn
1a campanha	1	3556,72	98,15	11605,64	37535,08	162,37	19712,35	4505,78	14,35
	2	4275,30	125,98	7313,77	44218,70	211,32	17410,84	5540,56	14,64
	3	3823,47	141,95	8653,54	31940,31	130,78	13292,40	5333,98	7,58
	4	3077,34	115,47	6390,57	27739,59	134,19	17474,43	5701,02	6,23
	5	3113,23	114,79	7680,40	28972,68	101,86	17348,30	6143,21	4,91
	6	3846,88	139,79	6371,89	31885,95	130,19	19463,70	4966,52	11,89
	CV	12,84%	13,59%	24,51%	18,26%	25,97%	13,19%	10,70%	42,71%
2a campanha	1	2871,68	65,56	11433,80	31087,16	105,00	25812,64	4961,77	14,98
	2	3623,92	123,88	8111,82	34729,30	167,19	25792,55	4974,38	10,90
	3	2985,92	251,93	8220,59	29169,84	100,94	29030,30	4905,53	7,88
	4	2997,78	197,23	6990,62	25549,71	111,00	24558,38	5356,71	6,11
	5	3943,72	89,95	11072,17	31390,03	155,79	25577,54	5742,72	18,13
	6	3619,87	195,41	10165,63	29459,69	142,40	25831,72	5040,92	8,86
	CV	13,29%	46,83%	19,37%	10,03%	21,78%	5,81%	6,31%	41,08%

Legenda: CV = coeficiente de variação.

**Tabela 14** – Concentrações médias em mg Kg<sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas dos elementos químicos determinados nas folhas de *Avicenia schaueriana* do manguezal do rio Pardo, Canavieiras, Bahia

		Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Cu	Zn
1a campanha	1	4408,10	115,57	7715,79	33971,26	254,99	22394,74	5079,28	0,10	14,62
	2	3398,17	99,94	9718,80	31013,47	178,17	21221,25	6978,97	3,18	11,19
	3	3926,43	123,77	10261,56	39468,69	201,12	20380,09	3941,72	1,02	16,16
	4	4744,80	127,96	12151,02	39334,61	247,14	17603,90	8333,16	0,31	18,64
	5	4545,60	95,51	11853,84	24842,02	154,77	19191,69	7190,09	1,03	9,61
	6	4568,93	215,13	8679,59	30629,25	133,48	24142,37	7017,22	0,30	7,92
	CV	11,90%	33,78%	17,30%	16,97%	25,17%	11,13%	24,97%	115,43%	31,66%
2a campanha	1	4395,31	143,55	8926,00	32491,73	214,95	23661,85	5760,07	0,44	10,98
	2	4401,26	128,57	9417,47	33408,97	185,19	29041,65	7012,72	1,07	12,67
	3	4501,41	175,46	7701,08	34654,43	206,97	25464,19	7310,08	0,546	10,35
	4	3918,43	134,64	14541,59	35366,38	214,04	18684,23	8608,42	1,53	18,64
	5	4089,81	191,84	9071,91	32649,30	173,97	21354,08	6102,64	0,73	8,64
	6	3505,90	193,00	8141,69	28108,80	99,35	26160,07	6631,03	1,09	9,27
	CV	9,16%	18,06%	25,81%	7,78%	24,07%	15,28%	14,64%	45,16%	31,06%

Legenda: CV = coeficiente de variação.

**Tabela 15** – Concentrações médias em mg Kg<sup>-1</sup> da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> campanhas dos elementos químicos determinados nas folhas de *Avicenia schaueriana* e *Avicenia germinans* do manguezal do rio Jequitinhonha, Belmonte, Bahia

		Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Zn
1a campanha	1	3742,30	140,83	8159,87	31159,09	99,83	22557,72	6196,73	9,45
	2	3742,30	140,83	8159,87	31159,09	99,83	22557,72	6196,73	9,17
	3	3305,75	114,81	9052,50	32989,00	149,57	17029,25	5991,95	10,17
	4	2495,18	103,05	8579,05	29298,19	142,05	15437,75	5784,05	7,23
	5	1891,83	109,48	10403,51	32657,65	232,65	15054,79	4832,28	12,22
	6	3386,94	118,49	8873,23	26524,87	210,58	20984,20	5002,07	15,92
	CV	24,07%	13,22%	9,40%	7,84%	35,63%	18,49%	10,64%	28,28%
2a campanha	1	4154,14	236,19	8115,81	33508,60	144,61	18489,98	5758,16	9,53
	2	2993,89	230,98	7482,81	31180,18	137,22	17591,05	5622,51	6,63
	3	4292,45	143,53	8100,98	33967,80	231,21	22483,90	6062,38	12,69
	4	1737,92	120,27	10137,16	28054,21	252,91	16438,25	4734,18	11,82
	5	1569,56	146,47	9027,49	24649,41	111,67	12987,70	5404,65	9,48
	6	1954,77	95,12	11232,77	24557,66	112,16	15061,02	4960,99	14,63
	CV	43,85%	36,03%	15,81%	14,36%	37,30%	18,89%	9,21%	26,18%

Legenda: CV = coeficiente de variação.

**Apêndice II** – Tabelas das concentrações médias por manguezal dos elementos químicos determinados no sedimento

**Tabela 16** - Concentrações médias em mg Kg<sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas dos elementos químicos do sedimento do rio Una, Una, Bahia

		Pb	Zn	Cr	Cu	Cd	Mn	Fe	V	Ni
1a campanha	1	29,27	34,76	28,78	7,74	0,69	198,15	15861,33	40,89	9,68
	2	18,11	22,83	21,27	6,89	0,58	60,70	14672,06	30,11	6,36
	3	24,36	30,72	24,58	7,12	0,67	195,60	16543,55	34,36	8,17
	4	30,05	37,24	30,77	9,36	0,86	246,06	19410,38	45,62	10,10
	5	31,24	39,21	32,29	10,05	1,02	232,49	21285,32	45,73	9,64
	6	34,53	42,26	34,95	10,93	1,03	316,34	21287,60	50,98	10,87
	CV	20.88%	20.10%	17.61%	19.22%	23.60%	40.60%	15.79%	18.94%	17.73%
2a campanha	1	11,90	19,88	11,31	3,92	0,26	52,14	7983,92	15,55	4,10
	2	26,49	39,06	26,85	11,49	0,73	131,30	17558,99	39,15	8,74
	3	36,33	54,86	37,93	12,41	1,12	245,63	22944,76	54,30	12,22
	4	42,11	54,07	40,65	12,80	1,20	334,12	23596,87	58,61	13,46
	5	28,94	38,17	26,77	9,37	0,82	136,02	18659,74	35,70	7,68
	6	41,53	55,75	42,12	13,86	1,25	430,51	24615,40	62,40	12,88
	CV	36.58%	32.36%	37.90%	34.05%	41.90%	64.16%	32.19%	39.88%	37.13%

Legenda: CV = coeficiente de variação.

**Tabela 17** – Tabela de valores dos parâmetros não conservativos e fósforo

		pH	Eh	Fósforo
1a campanha	1	7,27	-24	270,00
	2	7,02	-16	132,50
	3	6,84	44	275,00
	4	6,61	58	345,00
	5	6,70	84	330,00
	6	6,70	60	360,00
	CV	3,62%	52,70%	29,24%
2a campanha	1	6,41	33	42,14
	2	7,10	-5	98,66
	3	6,83	-19	184,83
	4	6,75	-13	202,38
	5	6,00	50	168,20
	6	6,45	5	137,58
	CV	5,85%	84,92%	43,15%

Legenda: CV = coeficiente de variação.

**Tabela 18** - Concentrações médias em mg.Kg<sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas dos elementos químicos do sedimento do rio Pardo, Canavieiras, Bahia

		Pb	Zn	Cr	Cu	Cd	Mn	Fe	V	Ni
1a campanha	1	19,76	19,87	14,53	4,98	0,35	120,30	10441,38	20,09	5,86
	2	35,06	37,41	27,58	10,59	0,70	169,96	17955,67	37,99	9,96
	3	37,47	41,25	31,10	12,64	0,87	138,12	19188,10	45,42	10,96
	4	46,15	45,73	31,87	12,95	0,89	174,01	20200,16	42,35	12,00
	5	46,99	43,70	29,77	12,12	0,92	202,40	19866,29	40,49	11,10
	6	46,99	45,87	35,03	13,52	1,03	296,20	21353,40	44,28	11,08
	CV	27.48%	25.35%	25.38%	28.52%	30.49%	33.93%	21.73%	24.38%	21.69%
2a campanha	1	55,86	57,15	37,18	14,04	0,95	295,00	21377,69	46,82	13,69
	2	40,71	49,14	31,00	12,10	0,80	178,31	19020,26	41,04	11,50
	3	42,65	50,02	31,64	12,60	0,88	266,10	20037,75	42,79	11,62
	4	45,39	54,09	34,74	13,38	0,99	262,84	21038,57	43,81	12,30
	5	56,83	64,94	40,95	28,26	1,15	191,10	23378,24	52,86	13,83
	6	50,09	58,05	35,11	17,56	0,95	125,36	21542,62	49,46	12,05
	CV	13.98%	10.52%	10.46%	37.72%	12.32%	29.57%	7.01%	9.66%	8.16%

Legenda: CV = coeficiente de variação.

**Tabela 19** – Tabela de valores dos parâmetros não conservativos e fósforo

		pH	Eh	Fósforo
1a campanha	1	7,18	-32	220,00
	2	6,96	-6	215,00
	3	6,33	6	390,00
	4	6,63	4	370,00
	5	6,62	5	770,00
	6	6,46	10	770,00
	CV	4,74%	102,18%	55,73%
2a campanha	1	6,85	9	266,50
	2	6,35	9	208,05
	3	6,90	7	249,25
	4	6,91	6	257,34
	5	7,12	-6	203,51
	6	6,90	8	290,22
	CV	3,76%	18,38%	13,81%

Legenda: CV = coeficiente de variação.

**Tabela 20** - Concentrações médias em mg.Kg<sup>-1</sup> da 1ª e 2ª campanhas dos elementos químicos do sedimento do rio Jequitinhonha, Belmonte, Bahia

	Pb	Zn	Cr	Cu	Cd	Mn	Fe	V	Ni	
1a campanha	1	48,16	29,15	24,99	11,46	0,54	65,58	13769,86	39,67	8,91
	2	33,39	27,52	20,99	8,87	0,38	83,49	12480,53	27,69	8,54
	3	36,50	29,01	22,02	8,00	0,49	133,34	13524,66	30,23	8,47
	4	34,77	29,42	22,20	9,90	0,43	73,04	12154,23	29,75	9,49
	5	41,76	22,48	16,22	7,68	0,27	46,73	8312,48	21,39	6,88
	6	33,40	18,33	12,71	6,18	0,23	36,84	6722,17	16,82	5,96
	CV	15.46%	17.57%	22.76%	21.22%	31.24%	46.56%	26.26%	28.63%	16.65%
2a campanha	1	32,75	38,88	26,34	13,46	0,55	67,43	14254,73	41,63	9,14
	2	48,11	48,68	29,76	20,44	0,77	275,57	17617,13	40,51	11,57
	3	26,12	27,76	13,93	7,21	0,34	133,92	9166,02	17,89	6,63
	4	54,27	32,95	18,88	10,16	0,29	51,39	9446,20	23,91	8,04
	5	38,57	38,33	24,18	12,28	0,45	70,57	12746,77	31,24	10,17
	6	43,53	38,46	31,88	16,82	0,59	54,51	14534,47	41,18	11,19
	CV	25.32%	18.63%	27.96%	35.23%	35.41%	79.91%	25.03%	30.90%	20.11%

Legenda: CV = coeficiente de variação.

**Tabela 21** – Tabela de valores dos parâmetros não conservativos e fósforo

	pH	Eh	Fósforo	
1a campanha	1	6,60	-1	190,00
	2	6,48	8	137,50
	3	6,60	3	145,00
	4	6,72	-3	125,00
	5	6,41	14	105,00
	6	6,86	-11	70,00
	CV	2,45%	77,46%	31,30%
2a campanha	1	6,82	6	108,95
	2	7,17	-10	120,45
	3	7,37	-25	61,70
	4	6,27	46	63,88
	5	6,56	26	60,67
	6	6,07	55	72,99
	CV	7,56%	69,14%	32,39%

Legenda: CV = coeficiente de variação.