

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
PROGAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**ESTUDO GEOQUÍMICO E GEOCRONOLÓGICO DOS SEDIMENTOS DE  
FUNDO DO SISTEMA ESTUARINO GOIANA-MEGAÓ, PERNAMBUCO**

**Natália Gomes Alves de Souza**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Recife (PE)

Julho 2013

---

Natália Gomes Alves de Souza  
Geóloga, Universidade Federal de Pernambuco, 2010

**Estudo Geoquímico e Geocronológico dos Sedimentos de fundo do Sistema  
Estuarino Goiana-Megaó, Pernambuco**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geociências, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. João Adauto de Souza Neto, Dr. Sc. e co-orientada pela Dr<sup>a</sup>. Adriana Baggio Garlipp, como preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Geociências, na Área de Concentração em Geologia Sedimentar e Ambiental.

Recife (PE)

Julho 2013

Catalogação na fonte  
Bibliotecário Vimário Carvalho da Silva, CRB-4 / 1204

S729e Souza, Natália Gomes Alves de.

Estudo geoquímico e geocronológico dos sedimentos de fundo do sistema estuarino Goiana-Megaó, Pernambuco./ Natália Gomes Alves de Souza. - Recife: A Autora, 2013.

110 folhas, il., color., p&b, gráfs., tabs.

Orientador: Profº. Dr. Sc. João Adauto de Souza Neto.

Coorientador: Profª Dr. Adriana Baggio Garlipp.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2013.

Inclui Bibliografia, listas de figuras, de tabelas e apêndice.

1. Geociências. 2. Geoquímica. 3. Sistema estuarino. 4. Ecossistema. 5. Goiana (PE). I. Souza Neto, João Adauto de (orientador). II. Garlipp, Adriana Baggio (coorientadora). III. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2014-039

**“Estudo Geoquímico e Geocronológico dos Sedimentos de fundo do Sistema  
Estuarino Goiana-Megaó, Pernambuco”**

**Natália Gomes Alves de Souza**

Aprovada:

---

Prof. João Adauto de Souza Neto, *Dr.Sc.* (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

19/03/2013

---

Prof. Edmilson Santos de Lima, *Dr.Sc.*  
Universidade Federal de Pernambuco

19/03/2013

---

Prof. Wanilson Luiz Silva  
Universidade Estadual de Campinas

19/03/2013

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.” (Madre Teresa de Calcuta)*

Dedico  
Às mulheres que mais amo,  
Maria Lima, Elzamélia, Ivana Roberta e Paula Cristina.

## **Agradecimentos**

Primeiramente gostaria de agradecer ao Programa de Pós-Graduação, principalmente aos professores Gorki Mariano, Sergio Neves e Ignêz Guimarães, que na coordenação do Programa não medem esforços para facilitar e incentivar os alunos. À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço aos professores Dr. Edmilson Lima e Dr. Wanilson Luiz Silva, por aceitarem o convite para participar da banca examinadora e por contribuírem com suas análises críticas e correções.

Ao meu orientador, João Adauto, que desde a graduação me apoia e investe em mim confiança e responsabilidade de uma forma que jamais ninguém fez, me aconselhando, incentivando e respeitando. Espero aprender ainda mais com essa pessoa que tanto admiro, pois para mim sempre será uma honra.

A Adriana Garlipp, minha Co-orientadora pela confiança e companheirismo, estando sempre a postos para tirar minhas duvidas e trazer suas contribuições valiosíssimas e principalmente por permitir que eu fizesse parte desse trabalho tão gratificante, além do apoio financeiro do Projeto intitulado EVOLUÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E DIAGNÓSTICO GEOQUÍMICO (RECENTE E HISTÓRICO) DO SISTEMA ESTUARINO GOIANA-MEGAÓ, LITORAL NORTE DO ESTADO DE PERNAMBUCO (Processo Número: 481.023/2008-9, Edital MCT/CNPq 14/2008 – Universal), coordenado pela Co-orientadora.

Agradeço ao CRCN por permitir a realização de grande parte das análises nos laboratórios da DIAMB, a todos os pesquisadores, técnicos, funcionários e alunos do DIAMB, aos que participaram das etapas de campo e principalmente a Eliane Valentim pelos cálculos das idades e taxa de sedimentação, além de promover o apoio e acesso ao uso da infra-estrutura laboratorial do CRCN. Agradeço também a Alessandro Nascimento e Gilberto Nascimento por me auxiliarem na aquisição dos dados geoquímicos e geocronológicos aqui apresentados.

Aos professores Joaquim Mota, Lúcia Valença, Virgílio Neumann, Gorki Mariano pelo apoio e incentivo nesses anos de mestrado.

A Sônia Agustinho pela companhia de todos os dias até tarde no departamento ou até mesmo nos fim de semana, sempre transmitindo boas energias com seu sorriso fortalecedor.

Divido essa vitória com minhas companheiras inseparáveis no mestrado, Patrícia França, Karlla Arruda, Lara Quinamo, com quem compartilhei muitos momentos de alegria.

Não posso deixar de agradecer a minha amiga irmã Natália Micheli que fez parte de todos os momentos deste trabalho, seja no campo ou no laboratório e mesmo estando muitas vezes distante nunca deixou de me apoiar. Agradeço também, a Ricardo Silva, que muito me ajudou e me incentivou nestes anos.

Agradeço as amigas de todas as horas, Jessyca Fernandes, Thayna Braga e Renata Pacheco, Erika Bandeira e Akaline Rodrigues. Bem como à família que conquistei na graduação, que mesmo não convivendo como antes sempre estão presentes em minha memória, Marcello Anastácio, Gilzênia Henrique, Lucilene Santos, Viviane Cunha, Fernando Caetano, Jonatas Albuquerque e Alexandre Velásquez, Thays Moura, Bruna Borba, Míriam Melo.

Em especial a Douglas Farias que teve toda a paciência e carinho em mais uma etapa importante de minha vida, me ouvindo e dizendo sempre as palavras certas que eu precisava ouvir, me passando toda sua tranquilidade e positividade, tornando minha vida mais leve e feliz.

Meu agradecimento especial a minha família que tanto me apoia e incentiva, aos meus tios, tias, primos, sogra, cunhada e cunhados. Ao meu pai pela presença, apoio e preocupação. Ao meu sobrinho Gabriel, dono do sorriso mais inspirador. A minha mãe e irmãs, Maria, Elzamélia, Paula e Ivana a quem dedico esse trabalho. Aqui está o resultado de tantos anos de esforço, dedicação e união de nossa família, tantas dificuldades superadas que só nos fortaleceram e impulsionaram para um futuro brilhante que nos aguardava, agradeço todos os dias e me sinto honrada de fazer parte desta família. Amo vocês.

Por fim deixo meu maior agradecimento a Deus e meus amigos espirituais que sempre me amparam e me protegem, agradeço a oportunidade de aprender e evoluir sempre.

## Resumo

O sistema estuarino Goiana-Megaó abriga flora e fauna variadas, sendo importante fonte de sustento das comunidades circunvizinhas. Este ecossistema tem sido impactado por diversas atividades agrícolas, industriais e aquicultura. Além disso, existe a previsão de grande desenvolvimento econômico nesta região em um futuro próximo (implementação de um polo farmacoquímico e um polo automotivo). Deste modo, o objetivo deste trabalho foi realizar um diagnóstico atual e a avaliação histórica das concentrações totais e potencialmente biodisponíveis de elementos maiores e traços, através de três testemunhos com distribuição espacial estratégica ao longo do estuário. Também se objetivou determinar a taxa de sedimentação desse sistema através da datação geocronológica pelo método  $^{210}\text{Pb}$  em cinco testemunhos ao longo do sistema estuarino. As concentrações de *background* local considerados neste trabalho para o sistema estuarino estudado foram obtidos a partir do testemunho a montante do estuário no rio Goiana, pelo fato deste ter alcançado as camadas mais antigas, depositadas a 98 anos atrás. Os elementos químicos As, Cr, Ni e Cu encontraram-se em concentrações acima dos limites estabelecidos pela legislação brasileira nos testemunhos T-2 e T-3, com valores máximos de 3,0 ppm, 102,0 ppm, 42,2 ppm e 39,6 ppm, respectivamente. As, Mo, S e Sb apresentaram fator de enriquecimento elevado em relação ao *background* ( $\text{FE} > 2$ ), tendo sido obtido nos testemunhos à jusante do estuário principalmente entre 1915 e 1975. As concentrações de As tem provável origem geogênica (rochas vulcânicas e mineralização de Ba e Pb localizada a aproximadamente 50 km montante da área estudada), porém, assim como Mo, S e Sb, pode também ter origem antrópica (cultivo de cana-de-açúcar). Quanto à taxa de sedimentação do sistema estuarino estudado, houve uma tendência ao aumento com o passar dos anos e com o ano de 1966 como principal marco destas mudanças, sendo relacionados ao aumento da ocupação do município de Goiana e ao intenso cultivo de cana-de-açúcar na região. Apesar de todos estes fatores, este sistema estuarino ainda se encontra relativamente preservado, porém é notória a interferência antrópica na área, comprovada pelos dados geoquímicos aqui descritos, tornando necessário um monitoramento contínuo destes contaminantes ao longo dos próximos anos.

**PALAVRAS CHAVES:** Geoquímica, Geocronologia  $^{210}\text{Pb}$ , Taxa de sedimentação e Sistema Estuarino Goiana-Megaó.

## Abstract

The Goiana-Megaó estuarine system possesses a broad variety of flora and fauna, an important resource that sustains the neighbouring communities. This ecosystem has been impacted by various agricultural, industrial and aquacultural activities. Furthermore, large scale economical developed is envisaged for the region in the near future. The objective of this work was to undertake the current diagnostic and historical evaluation of the total concentrations and potential bioavailable major and trace elements using three cores, strategically distributed across the estuary. The objective was to also determine the sedimentation rate of the system by using the  $^{210}\text{Pb}$  geochronological dating technique in five cores along the estuary. The local background concentrations considered in this work for the estuarine system studied were obtained from the testimony of the estuary upstream river in Goiana, because this has reached the oldest layers, deposited 98 years ago. The elements As, Cr, Ni and Cu were found to be above the established limits of Brazilian legislation with values of 3 ppm, 102 ppm, 42.2 ppm and 39.6 ppm respectively. As, Mo, S and Sb showed an elevated enrichment factor (EF) above background of  $> 2$  having been obtained in the testimonies of the downstream estuary mainly between 1915 and 1975. The concentrations of As probably have a geogenic origin (volcanic rocks and mineralisation of the upstream Ba and Pb, located approximately 50 km upstream of the studied area). Mo, S and Sb could have a anthropogenic origin (sugar cane cultivations). The systems sedimentation rate shows a tendency to increase over time, likely pointing towards a recent marine transgression after 1966. This is indicated by the constant sedimentation exhibited in the upstream core, even though it would have been the first to receive the sediment yield arising from upstream deforestation caused by the cultivation of cane sugar. Despite all these influences, this estuarine system has remained relatively preserved. However, given the notorious amount of human interference in the area, as evidenced by geochemical data described here, continuous monitoring of these area is required over the coming years.

**KEYWORDS:** Geochemistry, Geochronology,  $^{210}\text{Pb}$ , sedimentation rate, Goiana-Megaó Estuarine System.

## Sumário

1.	INTRODUÇÃO .....	15
1.1.	Objetivos.....	17
1.1.1.	<i>Objetivos específicos</i> .....	17
2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	17
2.1.	Ambientes estuarinos .....	17
2.2.	Geoquímica de sedimentos estuarinos .....	19
2.3.	Geocronologia e taxa de sedimentação em estuários.....	22
3.	CARACTERIZAÇÃO FÍSICAS DA ÁREA ESTUDADA.....	26
3.1.	Sistema Estuarino Goiana-Megaó.....	26
3.2.	Características Fisiográficas e Clima .....	27
3.3.	Contexto Geológico da área do Sistema Estuarino Goiana-Megaó .....	29
3.3.1.	<i>Bacia Paraíba</i> .....	29
3.3.2.	<i>Unidades Estratigráficas</i> .....	30
4.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	32
4.1.	Coleta de testemunhos de sedimentos de fundo e análises <i>in situ</i> dos parâmetros físico – químicos da água.....	32
4.2.	Quantificação de matéria orgânica e de carbonatos totais .....	34
4.3.	Determinações da taxa de sedimentação e geocronologia.....	34
4.4.	Determinação das concentrações dos elementos maiores, menores e traço .	38
4.5.	Controle de qualidade das amostras.....	40
4.6.	Determinação do <i>background</i> da área estudada e fator de enriquecimento	41
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
5.1.	Parâmetros físico-químicos da água .....	43
5.2.	Descrição dos testemunhos .....	44

5.3. Determinação das concentrações de matéria orgânica (MO) e carbonatos totais (CT).....	47
5.4. Geocronologia .....	50
5.5. Taxa de sedimentação do sistema estuarino Goiana-Megaó .....	53
5.5.1. <i>Taxa de sedimentação do sistema estuarino Goiana-Megaó, calculada pelo método de Honorato (2002)</i> .....	55
5.5.1.1. <i>Taxa de sedimentação do rio Goiana calculada pelo método de Honorato (2002)</i> .....	56
5.5.1.2. <i>Taxa de sedimentação do rio Megaó calculada pelo método de Honorato (2002)</i> .....	58
5.5.2. <i>Determinação da taxa de sedimentação do sistema estuarino Goiana-Megaó calculada pelo método de Godoy (1998)</i> .....	59
5.5.2.1. <i>Determinação da taxa de sedimentação do rio Goiana calculada pelo método de Godoy (1998)</i> .....	59
5.5.2.2. <i>Determinação da taxa de sedimentação do rio Megaó calculada pelo método de Godoy (1998)</i> .....	62
5.6. Análises geoquímicas.....	62
5.6.1. <i>Matriz de correlação das concentrações totais envolvendo os elementos maiores e traço – Testemunho T-2</i> .....	65
5.6.2. <i>Matriz de correlação das concentrações totais envolvendo os elementos maiores e traço – testemunho T-3</i> .....	66
5.6.3. <i>Matriz de correlação das concentrações totais envolvendo os elementos maiores e traço – testemunho T-4</i> .....	67
5.6.4. <i>Comparação das concentrações (potencialmente biodisponíveis e totais) dos elementos químicos dos sedimentos de fundo dos testemunhos estudados com valores de background local, composição média dos folhelhos mundiais e valores estabelecidos pelo CONAMA</i> .....	68
5.6.5. <i>Fator de enriquecimento dos elementos químicos analisados</i> .....	71
6. CONCLUSÕES.....	73
7. BIBLIOGRAFIA .....	77

<b>APÊNDICE 1 –Imagem de satélite mostrando principais empreendimentos e povoados presentes no sistema estuarino Goiana-Megaó. Cedida pelo ICMBIO-RESEX Acaú-Goiana .....</b>	<b>90</b>
<b>APÊNDICE 2 – Mapa Geológico, com unidades litoestratigráficas que compõe a área do sistema estuarino Goiana-Megaó (PE), modificado de Souza (1999).....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE 3: Mapa com a localização dos pontos de amostragem dos testemunhos e medição dos parâmetros físico-químicos da água. ....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE 4: (a) Resultados analíticos das concentrações totais, destacados em amarelo os valores estabelecidos como <i>background</i> local e (b) Resultados analítico das concentrações potencialmente biodisponíveis dos sedimentos dos testemunhos do sistema estuarino Goiana-Megaó .....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE 5: Matrizes de correlação (a) dos testemunhos T-1 e T-5 (MO e CT), (b) do testemunho T-2 (Concentrações totais dos elementos, MO e CT, Profundidade), (c) do testemunho T-3 (Concentrações totais dos elementos, MO e CT, Profundidade) e (d) do testemunho T-4 (Concentrações totais dos elementos, MO e CT, Profundidade) .....</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICE 6: Idade, data e taxa de sedimentação das camadas dos testemunhos T-1, T-2, T-3, T4 e T5 .....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE 7: Porcentagem extraída dos elementos pela digestão com HCl em relação à digestão total, segundo Sutherland, 2002.....</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICE 8: Concentrações totais e potencialmente biodisponíveis dos principais elementos maiores e traços nos testemunhos coletados no sistema estuarino Goiana-Megaó, (a) testemunho T-2, (b) testemunho T-3, (c) testemunho T-4, comparados com os valores do CONAMA, Média dos folhelhos mundiais e <i>background</i> locais estabelecidos.....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE 9: Fator de enriquecimento dos elementos maiores e traços em testemunhos do sistema estuarino Goiana-Megaó.....</b>	<b>108</b>

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Relação entre a condutividade e os eletrólitos totais dissolvidos (STD).....	21
Tabela 2: Composição parcial da ração de camarão. Fonte: Garlipp (2006) .....	40
Tabela 3: Parâmetros físico-químicos da água obtidos nas estações de amostragem ....	43
Tabela 4: Condições de imobilidade de metais pesados em relação ao pH e Eh no ambiente superficial (modificado de Siegel, 2002). ....	44

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Série de decaimento do núcleo do $^{238}\text{U}$ e seus produtos (filhos). .....	23
Figura 2: Comportamento do $^{210}\text{Pb}$ no ambiente (modificado de Godoy, 1998). .....	24
Figura 3: Representação dos parâmetros requeridos para cálculo da idade das camadas de sedimentos pelos modelos CIC e CRS (Adaptado de Honorato,2002). .....	25
Figura 4: Estuário do rio Goiana (PE), mostrando as divisões do estuário, sendo baixo (lower), médio (middle), alto (upper). Adicionalmente mostra as principais atividades e vegetação, sendo Aquicultura (Acq), Cana-de-açúcar (Sc) e Floresta de mangue (Mg) (Fonte: Barletta & Costa, 2009). .....	27
Figura 5: Precipitação mensal dos últimos cinco anos no município de Goiana, PE, estando destacado o mês da coleta (fevereiro de 2012). (Fonte PROCLIMA/CPTEC/INEP, 2012).....	28
Figura 6: Precipitação pluviométrica média anual do município de Goiana, PE. Entre 1917 e 2012 (Fonte: Hidroweb e APAC, 2013). .....	29
Figura 7: Amostrador de PVC; (a) Amostrador de PVC de perfil de sedimento; (b) Amostrador de PVC coletando o sedimento.....	32
Figura 8: Testemunhos ainda congelados, sendo retirados dos tubos e seccionados a cada três centímetros. .....	33
Figura 9: (a) Extração do $^{210}\text{Pb}$ pela coluna de troca iônica; (b) Precipitação do $^{210}\text{Pb}$ com o reagente cromato de sódio (material precipitado) (Fonte: Arruda, 2010). .....	35
Figura 10: Precipitado de $^{210}\text{Pb}$ filtrado em papel Millipore.....	36

Figura 11: Equipamento para medida de partículas alfa e beta (Detector Proporcional de Fluxo Gasoso - marca Canberra modelo S5 XLB); (a) Visão geral do detector $\alpha$ , $\beta$ e (b) Detalhe de colocação das amostras para leitura. (Fonte: Arruda, 2010) .....	36
Figura 12: Obtenção das concentrações potencialmente biodisponíveis. (a) lixiviação do sedimento com HCl por 1 hora. (b) lixiviados sendo filtrados, transferidos para um frasco de polietileno, (c) concentrado sendo avolumados até aproximadamente 50 mL com HNO <sub>3</sub> a 2% e (d) aquisição das concentrações pela técnica de espectrometria de absorção atômica por chama (FAAS).....	39
Figura 13: Gráficos da porcentagem de MO e CT (%) nos sedimentos dos testemunhos no sistema estuarino Goiana-Megaó. ....	48
Figura 14: Idade das camadas sedimentares dos testemunhos investigados do sistema estuarino Goiana-Megaó.....	52
Figura 15: Gráficos da variação do <sup>210</sup> Pb em excesso (dpm/g) ao longo dos testemunhos do sistema estuarino Goiana-Megaó, com anos correspondentes a picos de acúmulo... ..	54
Figura 16: Histórico da densidade demográfica do município de Goiana desde 1940 até 2010 (Formiga, 2012). ....	55
Figura 17: Variação da taxa de sedimentação ao longo dos anos no sistema estuarino Goiana-Megaó, pelo método de Honorato,2002. ....	57
Figura 18: Taxa de sedimentação calculada pelo método adaptado de Godoy, 1988, sendo a taxa de sedimentação o valor do coeficiente de variação da equação d reta (destacado em vermelho). ....	61

## 1. INTRODUÇÃO

A zona costeira é uma importante zona de produção de alimentos através da agropecuária, pesca e aquicultura; é foco de desenvolvimento industrial e de transporte; fonte significativa de recursos minerais, sendo o principal destino turístico em todos os continentes; e abundante reservatório de biodiversidade e ecossistemas.

Dentro do ambiente costeiro, os ecossistemas estuarinos apresentam elevada produtividade biológica, e são responsáveis por fornecer uma ampla variedade de recursos naturais importantes para a manutenção da biodiversidade local e para a sobrevivência das comunidades humanas (Rocha *et al.*, 2009).

O Sistema estuarino Goiana-Megaó está situado na extremidade norte do Estado de Pernambuco, na divisa com o Estado da Paraíba, totalizando 4.776 hectares e estende-se a partir das imediações da cidade de Goiana até a foz desses rios, ao longo de uma extensão leste-oeste de, aproximadamente, 17 km. Composto por uma trama de rios, lagoas, pequenos canais, ilhas, ilhotas e áreas alagadas recobertas por densa vegetação de mangue. Habitadas por várias espécies de moluscos, crustáceos e peixes, incluindo-se, nessa fauna, o peixe-boi, animal em extinção. O uso e a ocupação do solo nesta área incluem urbanização, instalações industriais, agroindústria canavieira, policulturas, pecuária e aquicultura (CPRH, 2005).

Em 2007 esta região estuarina foi elevada a Unidade de Conservação do tipo Extrativista (RESEX) que são espaços territoriais destinados à manutenção do modo de vida tradicional das populações ali inseridas. Em tais espaços é possível materializar o paradigma do uso sustentável dos recursos naturais, equilibrando os interesses ecológicos de conservação ambiental, com interesses sociais de melhoria de vida das populações que ali habitam sem, no entanto abrir mão de seus hábitos e do contato com o meio ambiente (art.18 § 1º / lei 9.985/00 Constituição Federal).

A cobertura vegetal é predominantemente de floresta de manguezal e vem sendo ameaçada pelas lavouras de cana-de-açúcar e ocupação urbana, além do estuário está sendo contaminado por lixo das mais diferentes origens seja preso na vegetação de mangue, enterrado na planície de maré adjacente (Costa *et al.*, 2011).

Os produtos/substâncias que podem gerar danos ambientais são causados pelas indústrias químicas, atividade canavieira, policultura, com utilização de fertilizantes, herbicidas e pesticidas, ao redor destas áreas estuarinas e resíduos oriundos das

atividades de aquicultura. Além do lançamento de esgoto e resíduos sólidos das cidades urbanas e rurais circunvizinhas.

Pelo fato de os contaminantes poderem ser disponibilizados no ambiente a partir tanto de fontes geogênicas (substrato litológico local) quanto de fontes antropogênicas, essas devem ser investigadas a fim de se saber se as concentrações encontradas são naturais ou não, e avaliadas se provocam danos ou não ao meio ambiente, em último caso ao ser humano. Neste sentido, os impactos negativos que elementos químicos, pesticidas, entre outros causam no ambiente, em especial nos estuários, além do potencial de ocasionar problemas de saúde pública, vêm sendo foco de pesquisas científicas (Fernandes, 2001).

Existem alguns trabalhos realizados no Sistema estuarino Goiana-Megaó e adjacências, que englobam dados de contaminações químicas e distribuição de elementos químicos. Aprile & Farias (2001) avaliaram a qualidade da água do rio Goiana que demonstraram um alto nível de comprometimento das águas deste rio, destacando-se regiões a jusante das usinas de açúcar e álcool e dos municípios que não possuem saneamento básico adequado. Costa *et al.* (2009) obteve dados de contaminação química, principalmente de mercúrio em organismos dos mais diversos níveis tróficos.

O trabalho de Garlipp *et al.* (2010), é o mais expressivo para esta pesquisa. É relacionado à geoquímica dos sedimentos na área e encontrou resultados que mostram que o estuário ainda se encontra relativamente preservado, apesar da crescente interferência antrópica na área. Mg, Mn, P e Na mostraram tendência de aumento nos respectivos fatores de enriquecimento, principalmente em sedimentos mais recentes e o Cr, Cu e Ni encontram-se acima dos limites estabelecidos pela legislação.

Porém a falta de trabalhos na literatura que combinem a geoquímica com a datação e a taxa de sedimentação do sistema estudado, atrelado ao fato da implantação futura de um polo automotivo e de um polo farmacoquímico nas imediações deste sistema estuarino tornou relevante a realização desse trabalho, que além de fornecer um diagnóstico geoquímico histórico (últimos 100 anos) também servirá como base de dados comparativa para estudos futuros.

## 1.1. Objetivos

Reconstruir o histórico geoquímico do sistema estuarino Goiana-Megaó, distinguindo seus componentes naturais e antropogênicos. Além da determinação da taxa de sedimentação desta região a partir do método de datação  $^{210}\text{Pb}$ .

### 1.1.1. *Objetivos específicos*

- Analisar as concentrações totais e biodispiníveis dos elementos maiores e traços nas camadas sedimentares de testemunhos;
- Determinar a idade dos sedimentos e a taxa de sedimentação (método de datação por  $^{210}\text{Pb}$ ) em testemunho para diagnóstico das concentrações históricas dos elementos acima.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. Ambientes estuarinos

As áreas de estuário são um ambiente de grande importância para a manutenção de diversas espécies de animais e plantas englobando o ecossistema manguezal.

Os manguezais estão sendo definidos como ecossistema que têm um papel ecológico muito importante como zona de contato entre o meio terrestre e o meio aquático. Alimenta a cadeia trófica costeira (Dittmar *et al.*, 2001) e serve como refúgio e berçário de muitas espécies animais como espécies de camarão por exemplo (Acosta & Butler, 1997; Primavera, 1998; Nagelkerken *et al.*, 2000).

Pritchard (1967) define Estuários como corpos de água semi-fechados com uma livre abertura para o oceano ou mar adjacente, no interior do qual a água do mar é mensuravelmente diluída pela água dos rios provenientes da drenagem das águas continentais.

A definição mais aceita atualmente é de Dalrymple *et al.* (1992), na qual estuários dão dito como porções em direção ao mar, de um sistema de vale afogado que

recebe sedimento de fontes fluvial e marinha e que contêm fácies influenciadas por marés, ondas e processos fluviais; que se estendem do continente onde predominam fácies de maré (cabeça) em direção ao mar onde predominam fácies costeiras (desembocadura).

À medida que as pesquisas pontuais sobre esses ambientes foram ampliadas, estabeleceu-se a necessidade de comparação entre diferentes estuários, para tanto, critérios de classificação foram sendo estabelecidos.

Inicialmente as características físicas de movimento e mistura das águas doces e salinas foi o primeiro esquema de classificação proposto por Stommel (1951) *apud* Miranda *et al.* (2002). Este ainda classificou os estuários com base na distribuição da salinidade em: cunha salina, fiordes, moderada mistura e intensa mistura. Pritchard (1952) e Cameron & Pritchard (1963) refinaram tal classificação incluindo aspectos relacionados à estratificação vertical.

A metodologia de classificação de Pritchard (1952) tem por base as características geomorfológicas agrupando-os em quatro tipos: Planície costeira (vale inundado), fiorde (altas latitudes), formado por barras e por outros processos.

Vários foram os pesquisadores envolvidos no aprimoramento de uma metodologia geral a fim de classificar os estuários como Harleman & Abraham (1966). Silva (2000) propôs uma classificação ambiental que faz alusão à qualidade estética (aspectos desagradáveis visíveis); sanitário (presença de patógenos); estado trófico (cargas de nutrientes e hidrologia); poluição por substância (tóxicas).

Para Silva (2000) classificações morfológicas são de natureza qualitativa, embora seja possível, recorrendo a parâmetros adimensionais que caracterizam as variáveis morfológicas (comprimento, largura e profundidade), esboçando classes morfológicas definidas por gamas de valores desses mesmos parâmetros.

Silva (2000) também classifica estuários tipo Planície Costeira encontram-se nas planícies costeiras que se formaram durante a transgressão marinha no Holoceno, inundando os vales dos rios. O processo de inundação foi mais acentuado que o de sedimentação, tornando a topografia atual dos estuários semelhantes ao vale do rio. Eles são geralmente rasos, raramente ultrapassando os 30 m de profundidade. Sua seção transversal na maioria das vezes aumenta em direção à foz.

## 2.2. Geoquímica de sedimentos estuarinos

Entre os diversos contaminantes, os elementos traço têm contribuído de forma significativa para poluição do ar, da água e do solo, uma vez que a intervenção humana na sua geração e utilização como subprodutos de atividades industriais, tem criado graves problemas, em escala local e global, levando a um estresse da natureza associados aos seus efeitos crônicos à saúde humana (Brayner, 1998).

As entradas fluviais são as principais transportadoras de elementos contaminantes de origem continental para áreas costeiras (Lacerda, 1994). Devido a sua capacidade de retenção e acumulação de espécies contaminantes a partir da coluna d'água, os sedimentos estuarinos vêm sendo largamente utilizados para indicar o nível de poluição e contaminação ambiental, já que estes integram todos os processos que ocorrem no ecossistema aquático e terrestre adjacente (Valette-Silver, 1993).

De maneira geral, os elementos traço são transportados para os sedimentos pela lixiviação ocasionada nos continentes, principalmente como espécies adsorvidas ou coprecipitadas como películas dos oxi-hidróxidos de Fe/Mn e na matéria orgânica. Com a redução dos oxi-hidróxidos esses elementos metálicos são depositados nos sistemas aquáticos (Förstner e Wittmann, 1983).

As concentrações dos contaminantes nos sedimentos são muito maiores que nas águas estuarinas, o que possibilita o seu uso como um bom indicador de contaminação ambiental, tanto atual como pretérita (Valette-Silver, 1993; Jesus *et al.*, 2004), possibilitando ainda o conhecimento das principais fontes de poluição (Chatterjee *et al.*, 2007).

O tamanho das partículas dos sedimentos é um dos principais fatores de controle da distribuição de elementos traço em áreas costeiras (Hornberger *et al.*, 1999, Ergin & Yörük, 1990 e Mayer & Fink, 1980).

Os elementos traço contidos na fração mais grossa (compostas por minerais, como quartzo e feldspatos) fazem parte da rede cristalina destes minerais (geralmente em baixa concentração), estando assim menos disponíveis para a biota. Por outro lado, as partículas mais finas (silte e argila), possuem superfícies com alta capacidade de adsorção e consequentemente desempenham um papel importante no controle da deposição de elementos traço em áreas costeiras.

Além disso, as partículas mais finas do sedimento se associam à matéria orgânica e possuem óxidos de ferro e manganês adsorvidos à sua superfície, além de alguns metais como V e U, ajudando no controle da deposição dos elementos traço (Ip *et al.*, 2006).

Como a concentração de elementos traço nos sedimentos é fortemente influenciada pelo tamanho das partículas, pois diferentes frações granulométricas dos sedimentos possuem características físicas diferentes, tais como área superficial e capacidade troca iônica, é necessária, muitas vezes, a normalização destes valores para uma melhor avaliação do quanto diferentes áreas e/ou camadas sedimentares estão, mais ou menos, enriquecidas em elementos traço (Kersten & Smedes, 2002; Fukue, *et al.*, 2006).

Entretanto, variáveis físico-químicas e químicas, tais como pH, condições redox, influenciam na mobilidade dos elementos traço nos sedimentos, no processo de complexação, além da resuspensão dos sedimentos (Di Toro *et al.*, 1991; Wen & Allen, 1999). Adicionalmente, atividade biológica e a grande diversidade de condições ambientais podem promover variações sazonais de mobilização e remobilização dos elementos traço nos sedimentos, que podem ficar registradas nas camadas sedimentares com o passar do tempo (Machado *et al.*, 2002; Landajo *et al.*, 2004).

O forte efeito da temperatura no comportamento do íon hidrogênio tem um considerável significado geoquímico e deve ser levado em conta nas medidas e cálculos do pH, por exemplo, que é inversamente proporcional a temperatura (Custodio, 1987).

O potencial de hidrogênio (pH) indica a proporção entre ácidos e bases na solução através da qualidade do teor de íons hidrogênio. O pH da água pura a 25 °C é de 7,0. A água de rios em áreas não influenciadas por poluição geralmente tem um pH entre 6,5 e 8,5 (Hem, 1965). Valores de pH superiores a 8,5 interferem com processos de desinfecção de água potável e favorecem a incrustação de carbonatos, enquanto valores inferiores a 6,5 são propícios a processos de corrosão (Hem, 1965).

De acordo com Tessier *et al.* (1979), modificações nas condições físico-químicas do meio aquático (pH, Eh, concentração de matéria orgânica, salinidade, oxigênio dissolvido, temperatura e outros) podem liberar total ou parcialmente as frações metálicas potencialmente móveis, também chamadas de frações lábeis,

associadas aos sedimentos. Portanto, a biodisponibilidade dos elementos traço está diretamente associada aos diferentes valores do pH e Eh do meio.

De uma maneira geral, ambientes oxidantes e que estão submetidos a altas taxas de precipitação tendem a apresentar pH ácido, o que favorece a mobilidade desses elementos químicos, enquanto ambientes redutores e de maior profundidade desenvolvem pH mais elevado, dificultando a mobilidade desses elementos químicos (Alloway 1990; Robaina, 1999).

Mucci *et al.* (2004), consideram que a intensa atividade fotossintética de algas e plantas superiores pode elevar o pH a 8 ou valores mais altos, já que a redução dos níveis de gás carbônico como resultado da fotossíntese pode causar rápidas mudanças de pH.

A condutividade elétrica ou condutância específica representa numericamente a capacidade da água em transmitir a corrente elétrica. É inversamente proporcional à resistividade e depende diretamente da concentração iônica da solução e da temperatura, fornecendo uma indicação rápida da salinidade de uma solução (Hem 1985).

No estado natural, a água apresenta condutividade elétrica diretamente proporcional à quantidade de íons dissolvidos. Uma relação aproximada entre condutividade (em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e teor de eletrólitos totais dissolvidos (STD), considerando o pH da água entre 6,5 e 8,5, é mostrada pela Tabela 1 a seguir:

**Tabela 1: Relação entre a condutividade e os eletrólitos totais dissolvidos (STD), (Maia, 2004).**

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	ELETRÓLITOS TOTAIS DISSOLVIDOS (ppm)
Menor do que 1.000	$0,68 \times$ condutividade
De 1.000 a 4.000	$0,75 \times$ condutividade
De 4.000 a 10.000	$0,82 \times$ condutividade

Os valores mais elevados de condutividade elétrica geralmente estão associados a águas com altas concentrações de sulfato (Hem, 1985). Em ambientes aquosos naturais a condutividade varia entre 50 e 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para as águas superficiais, enquanto as águas subterrâneas podem alcançar valores mais elevados.

O parâmetro condutividade elétrica não determina, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas pode contribuir para

possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem ocasionados por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos, uma vez que aumenta em valor com a elevada concentração (soma de todas concentrações de todos íons) concentração destes contaminantes. A condutividade elétrica (concentração de íons) também é maior nos trechos poluídos, o que é atribuído possivelmente à elevada quantidade de matéria orgânica e de sais dissolvidos (provenientes dos rejeitos) no curso d'água (Maia, 2004).

Como dito, as concentrações de elementos traço também se associam à matéria orgânica, como a degradação, transformação e deposição desta tem origem terrestre através de atividades microbianas, físico-químicas, fotoquímicas que ocorrem quase que totalmente no ambiente de deposição e continuam preservados neste (Benner e Opsahl, 2001; Goñi *et al.*, 2005. Dagg *et al.*, 2008).

Ambientes posicionais próximos a rios possuem uma grande contribuição de detritos de matéria orgânica terrestre para os sedimentos. A contribuição relativa destas formas de matéria orgânica para os sedimentos é fortemente influenciada pela produtividade algal, produtividade de plantas terrestres e pelo processo de transporte.

A obtenção dos dados de matéria orgânica essencial em estudos realizados em áreas fluviais, para se conhecer a origem, os processos e as características da composição geoquímica do ambiente estudado, pois este material guarda registros sobre as condições ambientais passadas (Meyers, 2003). Porém Manahan (2013) ressalta que a matéria orgânica tem seu poder de fixação restrito a ambientes superficiais.

Os níveis de *background* dos contaminantes presentes nos sedimentos é um importante fator para a avaliação do grau de contaminação de sistemas estuarinos (Fukue *et al.*, 2006), pois este valor pode ser utilizado para estimar o quanto os sedimentos mais recentes estão enriquecidos ou empobrecidos em elementos traço em relação a períodos anteriores a atividade antrópica (Monteiro, 2008).

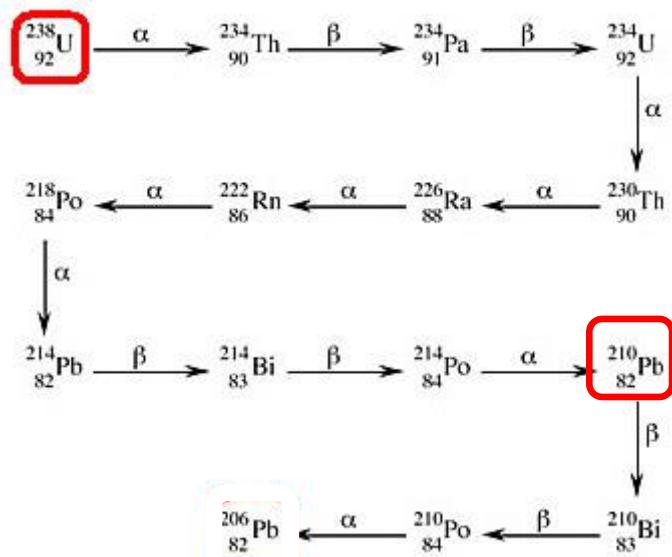
### **2.3. Geocronologia e taxa de sedimentação em estuários**

Os isótopos radioativos do chumbo são gerados pelo decaimento radioativo do  $^{232}\text{Th}$  ( $^{212}\text{Pb}$ ),  $^{235}\text{U}$  ( $^{211}\text{Pb}$ ) e  $^{238}\text{U}$  ( $^{210}\text{Pb}$ ). Os dois primeiros possuem meias-vidas muito

curtas, portanto, não migram nos ambientes a longas distâncias, além disso, suas meias-vidas curtas dificultam suas determinações. Já o  $^{210}\text{Pb}$  (meia vida 22,3 anos) pode ser incorporado a muitas matrizes ambientais (Attendorn & Bowen, 1997).

A Figura 1 mostra os produtos do decaimento  $^{238}\text{U}$  com seus respectivos  $T^{-1/2}$  (tempo de meia vida) alguns produtos intermediários com  $T_{1/2}$  muito curto (na ordem de segundos) estão omitidos. Os isótopos mais utilizados para datação são  $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$ , e  $^{210}\text{Pb}$ . O último produto da série de decaimento do  $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$  é o estável  $^{206}\text{Pb}$  e  $^{207}\text{Pb}$ , respectivamente.

A datação com chumbo,  $^{210}\text{Pb}$  ( $T_{1/2}=22,3$  anos) da série  $^{238}\text{U}$  proveniente da atmosfera, como consequência do decaimento do  $^{222}\text{Rn}$  ( $T_{1/2}=3,8$  dias), emanado do solo, representa uma ferramenta muito eficaz para o estabelecimento da cronologia em sedimentos recentes (até 100 anos) (Silva, 2008; Bonotto & Lima, 2006; Honorato, 2002; Jeter, 2000; Lima, 2000).



**Figura 1: Série de decaimento do núcleo do  $^{238}\text{U}$  e seus produtos (filhos).**

A fração de  $^{210}\text{Pb}$  proveniente da atmosfera denomina-se,  $^{210}\text{Pb}$  atmosférico (ou não suportável) para diferenciá-la, da outra, contida, originalmente, no sedimento, em equilíbrio com o  $^{226}\text{Ra}$ . O método de datação por  $^{210}\text{Pb}$  é o mais indicado para análises de sedimentos de ambientes estuarinos para definir atividades nas camadas com idades abaixo de 100 anos nas camadas mais recentes desses ambientes (Honoroato, 2002).

O método de datação por  $^{210}\text{Pb}$  baseia-se na estimativa da atividade residual de  $^{210}\text{Pb}$  não-suportado nos sedimentos, decorrente do seu arraste na atmosfera por meio

das chuvas e precipitações gravitacional. O  $^{210}\text{Pb}$  é um radionuclídeo da série de decaimento do  $^{238}\text{U}$ . Nas camadas mais antigas e profundas de sedimentos, os radionuclídeos da série do  $^{238}\text{U}$  estão em equilíbrio secular. Assim, as atividades de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$ , por exemplo, são iguais e o  $^{210}\text{Pb}$  é referido como “suportado”. Nas camadas mais recentes (menos de 100 anos) e menos profundas, a atividade do  $^{210}\text{Pb}$  é maior que a do  $^{226}\text{Ra}$  (Goldberg, 1963, Honorato, 2002).

O elemento gerador da acumulação de  $^{210}\text{Pb}$  nos sedimentos em excesso pelo  $^{226}\text{Ra}$  é o  $^{222}\text{Rn}$ , um gás nobre que é produzido a partir do decaimento do  $^{226}\text{Ra}$ . Por ser um gás, o  $^{222}\text{Rn}$  emana do solo e passa para a atmosfera onde é absorvido em partículas de poeira ou aerossóis. Por efeito da chuva ou forças gravitacionais, partículas são carreadas para os ecossistemas aquáticos, onde ficam em suspensão.

Posteriormente, estas partículas sofrerão um processo de deposição natural e alcançarão o fundo do corpo d' água. Com o decorrer do tempo, haverá um acúmulo de sedimentos contendo traços de  $^{210}\text{Pb}$ . Ciclo hidro-geoquímico do  $^{210}\text{Pb}$  é ilustrado abaixo (Figura 2).

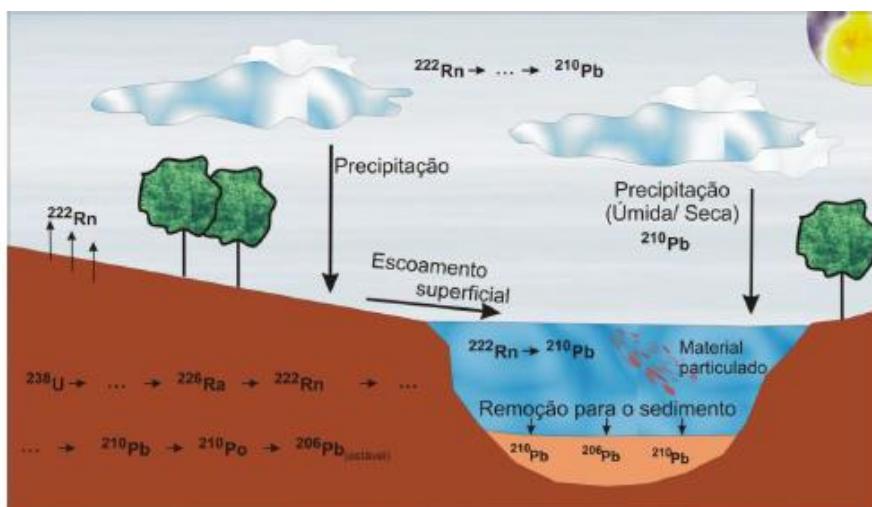


Figura 2: Comportamento do  $^{210}\text{Pb}$  no ambiente (modificado de Godoy, 1998).

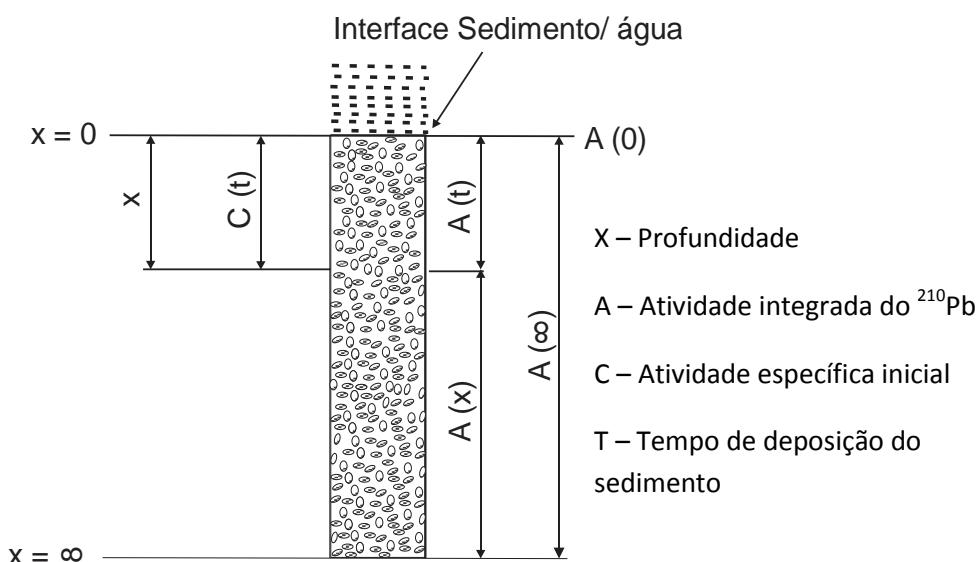
A metodologia utilizada na datação das camadas de sedimentos utilizando o  $^{210}\text{Pb}$  foi ilustrada primeiramente por Goldberg (1963). Um parâmetro crítico na datação com  $^{210}\text{Pb}$  é a taxa de ingresso de  $^{210}\text{Pb}$  não-suportado nas sucessivas camadas de sedimentos que se depositarão. Dois modelos matemáticos foram desenvolvidos para ajudar na interpretação do registro de  $^{210}\text{Pb}$ :

1) **Modelo de concentração inicial constante (CIC: Constant Initial Concentration)** - Esse modelo considera que a deposição atmosférica do  $^{210}\text{Pb}$  é gerida

por fatores geográficos e meteorológicos locais e que eles permanecem constantes ao longo de vários anos. Estas condições são estáveis e dão origem a um fluxo de massa constante tornando-se razoável, portanto, supor que existirá também uma taxa constante de acúmulo de  $^{210}\text{Pb}$  não-suportado e que cada camada de material depositado terá a mesma atividade específica inicial de  $^{210}\text{Pb}$  não-suportado.

Sendo o fluxo de  $^{210}\text{Pb}$  não-suportado constante e, por consequência, sem migração significativa do chumbo na coluna de sedimento, pode-se estimar que sua atividade em relação à profundidade da camada de sedimento declina linearmente, representando uma taxa de deposição constante ao longo do tempo (Nittrouer *et al.* 1984 *apud* Honorato, 2002).

2) **Taxa de ingresso constante (CRS: Constant Rate of Supply)** – As ações do homem produzem acentuadas mudanças ambientais e podem levar a variações significativas na taxa de acúmulo de massa sob a forma de sedimentos. Quando isto ocorre, o perfil de  $^{210}\text{Pb}$  não suportado ao longo da coluna de sedimento é não-linear. O modelo matemático representa o perfil de  $^{210}\text{Pb}$  não-suportado que na coluna de sedimento apresenta-se não-linear. Neste contexto se faz necessário calcular a atividade integrada do  $^{210}\text{Pb}$  não-suportado na coluna de sedimento para detecção da idade de cada camada. (Figura 3).



**Figura 3: Representação dos parâmetros requeridos para cálculo da idade das camadas de sedimentos pelos modelos CIC e CRS (Adaptado de Honorato, 2002).**

Estudos de contaminações atuais e históricas em ambientes estuarinos tem se tornado cada vez mais comuns, por se tratar de ambientes de alta produtividade natural e elevada biodiversidade que são de grande importância para uma expressiva parcela das populações dos municípios litorâneos.

A importância da determinação da taxa de afluência dos contaminantes nos sedimentos estuarinos é que estes preservam um registro histórico sobre mudanças ocasionadas em decorrência de processos industriais (Lima, 2000).

No processo de acumulação de sedimentos em ambientes aquáticos, a relação dos efeitos antrópicos com a ocorrência natural de deposição desses sedimentos pode ser identificada através da determinação da taxa de acumulação de sedimentos que possui grande importância para o entendimento dos processos geoquímicos ocorridos ao longo dos anos (Robbins & Edgington, 1975).

### **3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICAS DA ÁREA ESTUDADA**

#### **3.1. Sistema Estuarino Goiana-Megaó**

A bacia hidrográfica do Rio Goiana localiza-se na região Nordeste do Brasil, na divisa dos estados de Pernambuco e Paraíba, distando 65,7 km de Recife, cujo acesso é feito pela rodovia pavimentada BR-101, apresentando uma área de drenagem de 2.878,30 km<sup>2</sup>. Compõe-se de uma trama de rios, lagoas, canais, ilhas e ilhotas recobertas por densa vegetação de mangue e de alagados que se sucedem, de forma quase ininterrupta, do limite do manguezal até o entorno da cidade de Goiana (CPRH, 2005).

Os pequenos canais fluviais desta bacia também servem como receptor de efluentes domésticos e fluviais. Vazão média de água é de cerca de 11m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (0,5 a 25 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>). Os últimos 17 quilômetros de seu curso estão sob a influência dos ciclos de maré, o que caracteriza o estuário. As marés são semi-diurnas e mistas e variam de 0,0 a 2,5 m (Barletta & Costa, 2009).

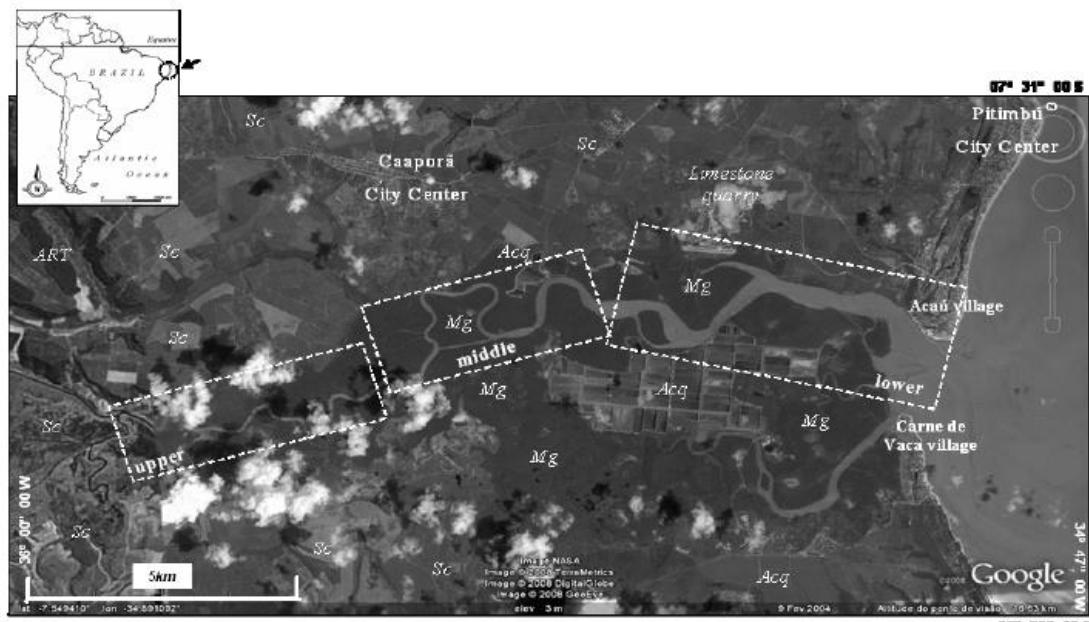
O rio Goiana é formado pela confluência dos rios Capibaribe-Mirim e Tracunhaém e forma junto com o rio Megaó um estuário misto com mais de 4.500 hectares (incluindo canal principal, planície alagada e floresta de mangue), sendo cercado pelos municípios de Goiana no estado de Pernambuco, Caaporã e Pitimbú no estado da Paraíba.

Silva, *et al.* (2011) classifica a área estuarina do Goiana/Megaó como do tipo Planície Costeira segundo os tipos geomorfológicos de estuários sugeridos por Pritchard (1967).

Barletta & Costa (2009) divide este estuário em superior (salinidade de 0 a 5), médio (salinidade de 5 a 20) e inferior (salinidade de 20 a marinha; canal mais largo) (Figura 4). O estuário superior é ocupado por áreas urbanas da cidade de Goiana.

Ao longo do canal principal, há três pequenas comunidades (Caaporã; Acaú e Carne de Vaca, no estuário inferior) e duas vilas de pescadores (Barreirinha e Congaçari no estuário médio).

As áreas adjacentes de vegetação aquática e florestas de mangue são cada vez mais ocupadas por plantações de cana-de-açúcar e no estuário superior é comum a dragagem de areia para mineração. No Apêndice 1 estão destacadas as principais atividades realizadas na área.



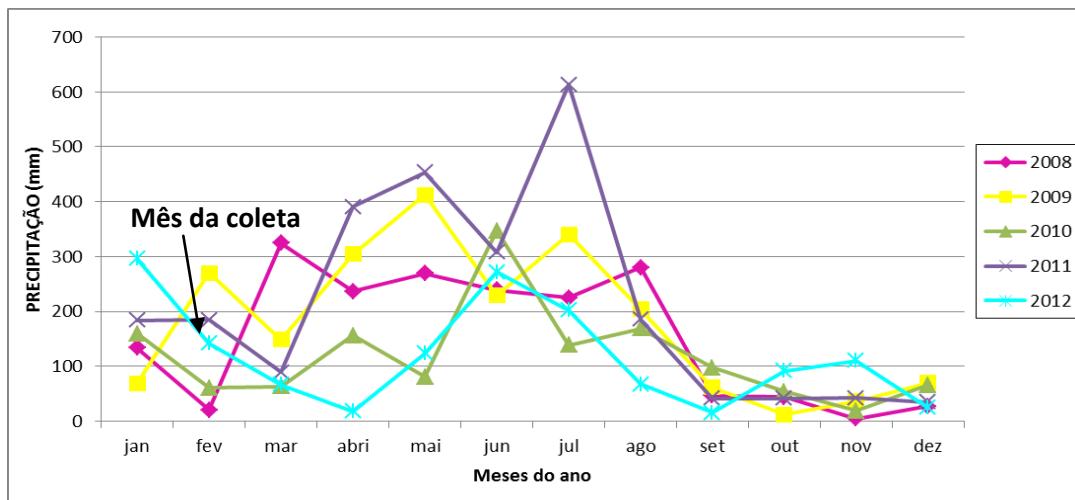
**Figura 4:** Estuário do rio Goiana (PE), mostrando as divisões do estuário, sendo baixo (lower), médio (middle), alto (upper). Adicionalmente mostra as principais atividades e vegetação, sendo Aquicultura (Acq), Cana-de-açúcar (Sc) e Floresta de mangue (Mg) (Fonte: Barletta & Costa, 2009).

### 3.2. Características Fisiográficas e Clima

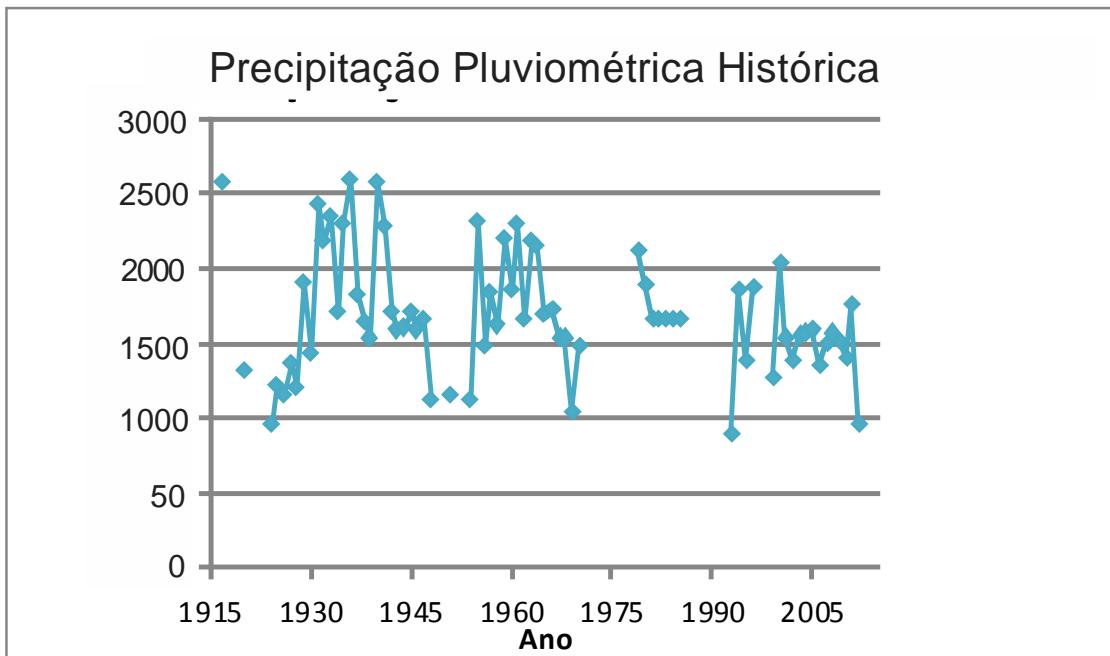
A região estudada tem um clima do tipo Tropical Úmido com verão seco, tipo “As” na classificação de Köppen. O período chuvoso começa no outono tendo início em fevereiro e término em agosto, sendo a precipitação anual em média de 1.600 mm. A

Figura 5 mostra os dados da precipitação mensal dos últimos cinco anos do município de Goiana, gerado a partir da análise das componentes do balanço hídrico obtidos no PROCLIMA/ CPTEC/INEP (2012). Adicionalmente na Figura 6 estão dispostos os dados existentes das precipitações pluviométricas médias anuais (Hidroweb e APAC, 2013) entre os anos de 1917 a 2012 que foram úteis nas discussões deste trabalho.

A região estuarina pertence a uma pequena porção do município de Goiana, na divisa dos estados de Pernambuco com a Paraíba e tem como unidade de relevo as Baixadas Costeiras. A cobertura vegetal é predominantemente de florestas de manguezal na faixa de influências de maré, sendo as principais espécies presentes as *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Laguncularia racemosa* (mangue manso) e *Avicenia schaueriana spp* (mangue preto) (Barlleta & Costa, 2009).



**Figura 5: Precipitação mensal nos últimos cinco anos no município de Goiana, PE, estando destacado o mês da coleta (fevereiro de 2012). (Fonte PROCLIMA/CPTEC/INEP, 2012).**



**Figura 6: Precipitação pluviométrica média anual do município de Goiana, PE. Entre 1917 e 2012 (Fonte: Hidroweb e APAC, 2013).**

### 3.3. Contexto Geológico da área do Sistema Estuarino Goiana-Megaó

#### 3.3.1. Bacia Paraíba

Os estudos mais recentes concordam que a Bacia Paraíba se trata de uma bacia costeira, de idade Mesozóica, cuja origem e evolução estão intrinsecamente ligadas aos fenômenos da deriva continental, separação dos continentes sul-americano e africano e a formação do oceano Atlântico (Souza, 2006). Apresenta-se como uma faixa estreita da costa nordeste do Brasil, ocupando o litoral norte do Estado de Pernambuco e parte do litoral norte do Estado da Paraíba, sendo limitada ao sul pela Zona de Cisalhamento de Pernambuco (ZCPE) e a norte pela falha de Mamanguape que representa uma ramificação da Zona de Cisalhamento Patos (ZCPA). Sendo subdividida em duas sub-bacias: Olinda e Alhandra-Miriri separadas pelo Alto de Goiana (Barbosa, 2004 e 2007).

A Sub-bacia Olinda, na qual a área estudada está incluída, tem como embasamento rochas do Terreno Rio Capibaribe, pertencente ao Domínio Transversal

da Província Borborema, segundo as definições de Santos (1996) e Brito Neves *et al.*, (2000).

Serão brevemente descritas abaixo as unidades estratigráficas que compõem a região estudada (Apêndice 2).

### 3.3.2. *Unidades Estratigráficas*

**Formação Itamaracá:** Rochas sedimentares, cuja origem está associada a um evento transgressivo que recobriu os depósitos continentais basais, e são representados por arenitos calcíferos, calcários com siliciclastos e margas.

Esta unidade, de idade Neo-Campaniano – Eo-Maastrichtiano apresenta no topo uma superfície de inundação máxima caracterizada por uma zona rica em fosfato sedimentar.

Os depósitos da Formação Itamaracá são restritos também à Bacia da Paraíba, sendo mais estudado em poços e algumas das poucas áreas aflorantes encontram-se na área estudada, sendo esta unidade muitas vezes descrita por outros autores como constituintes da porção basal da Formação Gramame (Barbosa *et al.*, 2007).

**Formação Gramame:** Essa formação, dada a sua presença espacialmente mais ampla, apresenta-se dividida em três fácies, definidas, segundo Mabesoone & Alheiros (1991), por calcarenitos e calcários arenosos, muito fossilíferos, na base, interdigitando-se com fosforitos e, no topo, calcários biomicríticos argilosos, com uma fácie supramesolitoral, uma fosfática e uma marinha plena.

Segundo Barbosa (2004) os depósitos da Formação Gramame são caracterizados por ciclos de *shallowing upwarding*, caracterizados pela repetição calcário-marga e acamamento plano-paralelo com grande continuidade lateral, mostrando o domínio de processos de agradação em uma extensa plataforma carbonática de baixo gradiente. Estes depósitos representam o regime de mar alto na bacia (Barbosa *et al.*, 2007).

A Formação Gramame, que tem idade determinada como Maastrichtiano (Beurlen, 1967a), mostra um caráter transgressivo sobre os arenitos Beberibe e, no topo, passa sem interrupção para os calcários da Formação Maria Farinha (Barbosa, 2004).

**Grupo Barreiras:** Alheiros *et al.* (1988) afirmam que na região estudada essa unidade é caracterizada pela presença de fácies típicas de um sistema fluvial entrelaçado e de fácies transicionais para leques aluviais.

Geralmente descrita como formada por arenitos de granulometria grossa, com níveis conglomeráticos e outros argilosos, assim como outros ricos em óxido de ferro (Lima Filho, 1998).

Trabalhos mais recentes descrevem esta unidade como sendo constituída por arenitos quartzosos subarcoseanos e sedimentos argilosos, pouco consolidados, de coloração variegada, com níveis laterizados e caulínicos, apresentando três fácies distintas: fácies de leques aluviais, observadas desde o norte de Recife até o Alto de Mamanguape; fácies fluviais de canais entrelaçados, presentes em toda a faixa entre Recife e Natal; fácies de planície fluvio- lacustre ocorrendo na faixa litoral entre Recife e João Pessoa e na região de São José do Mipibu, Rio Grande do Norte (Souza, 2006; Barbosa *et al.*, 2007).

Esta formação apresenta geomorfologia dominada por tabuleiros costeiros, de grande extensão, recortados por grandes vales de rios, na zona mais proximal da faixa costeira. Na zona de litoral ocorrem planícies costeiras e falésias (Barbosa *et al.*, 2007).

**Terraços Holocênicos:** Ocorrem como corpos alongados, mais ou menos contínuos, e paralelos a linha de costa, em largas faixas contínuas. Constituídos, essencialmente, de areias quartzosas, com cores claras, granulometria média a grossa, medianamente selecionadas, com grãos arredondados a subarredondados e incluindo fragmentos de conchas, alcançando cotas de 3m (Lima Filho, 1998).

**Depósitos de mangue:** Caracterizados como depósitos recentes ou não encontrados em regiões protegidas da ação das ondas do mar, nas margens de canais de maré e nas porções distais de vales de rios e riachos, e que compreendem, principalmente, argilas ricas em matéria orgânica, porém com porções silticas e arenosas (Lima Filho, 1998).

**Depósitos Litorâneos Praiais:** São depósitos arenosos inconsolidados essencialmente quartzosos, bem selecionados, que ocupam faixas estreitas ao longo da costa. Com concentrações esporádicas de minerais pesados em placers (Lima Filho, 1998).

**Depósitos Aluvionares:** Compostos por areia fina a média, argila e cascalho inconsolidados a semi-consolidados, localmente com porções rudíticas. As aluviões recentes estão presentes nos vales fluviais instalados em cotas mais elevadas. (Souza, 2006). Ao longo dos canais mais retilíneos das aluviões há predominância de sedimentos arenosos e já os sedimentos argilosos com matéria orgânica são depositados nas planícies de inundação, durante o transbordamento dos canais.

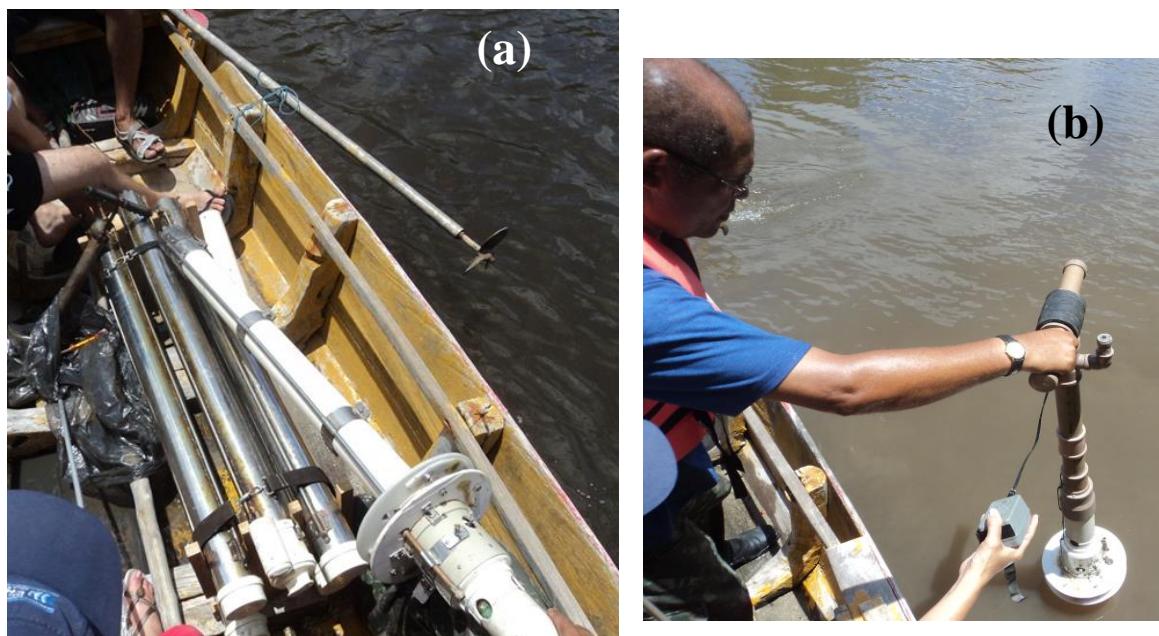
## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Coleta de testemunhos de sedimentos de fundo e análises *in situ* dos parâmetros físico – químicos da água

Em fevereiro de 2012, foram coletados cinco testemunhos no sistema estuarino do Goiana-Megaó. A escolha das estações de amostragem foi feita como intuito de melhor representar espacialmente a área como um todo.

Para uma melhor interpretação das características da dinâmica sedimentar e distribuição de elementos químicos no sistema estuarino estudado, as estações de coleta foram dispostas a 10 a 20 m das margens, para se evitar influência de material de solo, onde concentra-se o sedimento mais fino indicado para as análises. Sendo assim, foram coletados três testemunhos no rio Goiana, uma estação em cada porção do estuário (superior, médio e inferior) e dois testemunhos no rio Megaó, próximos a desembocadura (APÊNDICE 3).

Após a coleta, os testemunhos foram congelados dentro dos tubos de PVC na posição vertical, este procedimento mantem as características química e biológica dos sedimentos (Souza, 2007). A coleta foi realizada com auxílio de testemunhador de PVC com um metro de comprimento e 75 mm de diâmetro (Figura 7), seguindo o modelo de Honorato (2002).



**Figura 7: Amostrador de PVC; (a) Amostrador de PVC de perfil de sedimento; (b) Amostrador de PVC coletando o sedimento.**

Simultaneamente à coleta dos testemunhos, em cada estação de amostragem foram medidos *in situ* os parâmetros físico-químicos básicos na superfície da água (temperatura, pH, Eh, condutividade elétrica, resistividade, sólidos totais dissolvidos), com auxílio de uma sonda portátil multiparâmetro da marca DIGIMED, para assegurar que tais estações encontram-se sob condições estuarinas.

No Laboratório os testemunhos ainda congelados foram retirados dos tubos e seccionados com uma espátula de plástico, a cada três cm, totalizando sessenta e três amostras de sedimentos (Figura 8). Ainda úmida, cada amostra foi homogeneizada e pesada, sendo retirada uma alíquota de 1g para determinação da umidade total, necessária para os cálculos da datação, detalhados mais a adiante.

Após isso as amostras foram secas em temperatura ambiente e peneiradas (fração abaixo de 63 µm), para posterior obtenção dos dados de matéria orgânica, carbonatos totais, geocronologia e geoquímica.

Todas estas análises laboratoriais foram realizadas nos Laboratórios da Divisão de Análises Ambientais (DIAMBI) do Centro Regional de Ciências Nucleares (CRCN) da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), em Recife (PE).



**Figura 8: Testemunhos ainda congelados, sendo retirados dos tubos e seccionados a cada três centímetros.**

#### **4.2. Quantificação de matéria orgânica e de carbonatos totais**

Foram analisadas as concentrações de matéria orgânica (MO) e de carbonatos totais (CT) nas amostras de sedimento de fundo, já que estes são dois dos principais parâmetros utilizados em estudos quantitativos de elementos traço em sedimentos, por comumente estarem associados às frações mais finas dos sedimentos, que por sua vez retém uma maior quantidade de elementos traço.

Estas análises foram executadas por calcinação, seguindo-se a metodologia adotada por Kralik (1999), onde uma alíquota de 1g de cada amostra já processada (seca e peneirada) foi colocada em cadinho de porcelana previamente pesado. Primeiramente as amostras foram deixadas em estufa a 105°C por 16 horas para a obtenção do peso seco (sem água adsorvida). Em seguida os cadinhos foram levados à mufla a 360°C por 2 horas. Após esfriarem em dessecador, os cadinhos contendo as amostras foram novamente pesados, e a diferença de peso obtida foi considerada igual à quantidade de MO calcinada.

Após a obtenção da MO, os cadinhos retornaram à mufla, desta vez a 1.050 °C por 1 hora. Após resfriamento, os cadinhos foram novamente pesados. A diferença de peso entre a amostra calcinada a 360°C e a 1.050°C corresponde à quantidade de CO<sub>2</sub> liberado. Para a obtenção da quantidade de carbonatos totais perdidos na amostra foi utilizado o fator 0,44 (fração de CO<sub>2</sub> em CaCO<sub>3</sub>) (Dean, 1974). Alguns valores elevados de CT podem refletir a liberação de outras substâncias (e.g. metais alcalinos e hidroxila (OH<sup>-</sup>) presentes na estrutura cristalina dos argilominerais) sob esta temperatura de calcinação.

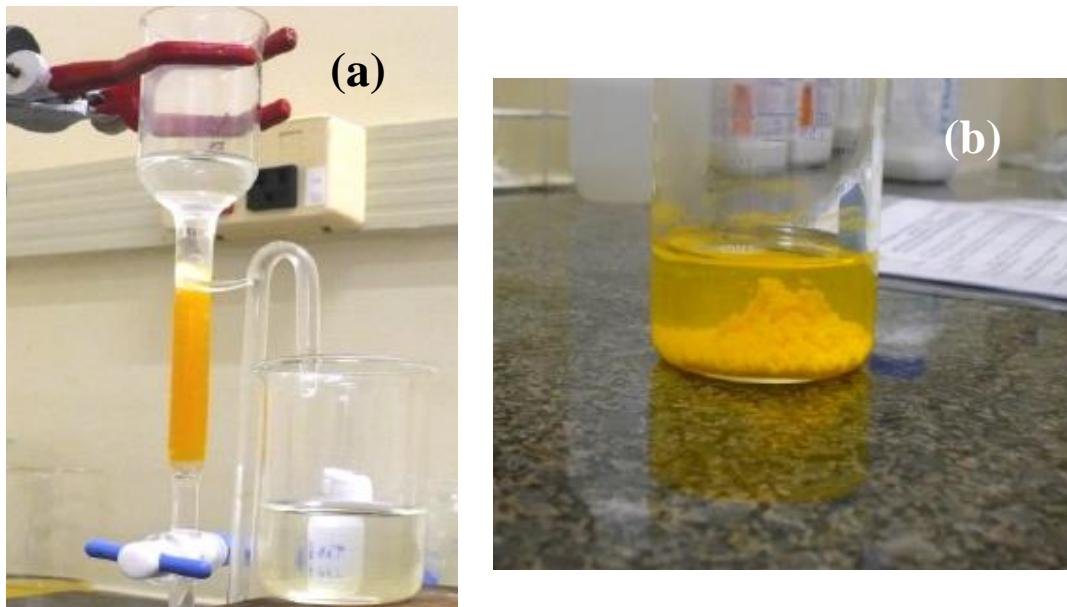
#### **4.3. Determinações da taxa de sedimentação e geocronologia**

As taxas de sedimentação dos sedimentos do Sistema estuarino Goiana-Megaó foram determinadas a partir do método do excesso de <sup>210</sup>Pb não-suportado (Smith, 2001 *apud* Honorato, 2002). As análises foram realizadas no Laboratório da SECARQ/CRCN.

O procedimento teve seu início com a pesagem de cerca de 5g de sedimento fino, seco e macerado. Adicionou-se aproximadamente 1g de cloridrato de hidroxilamina, 1000 $\mu$ L de carreador de chumbo (chumbo metálico + HNO<sub>3</sub> 20 mg/mL) e 100mL de HBr 0,5M. A mistura foi mantida sob agitação por 12 horas, após filtradas e transferidas para frasco de polietileno

Em seguida, fez-se percolar o material filtrado (amostra em solução) através da coluna de troca iônica contendo a resina (Resina DOWEX 1x8 Clorídrica 50-100 mesh básica) (Figura 9a), com adição de HBr 0,5M, para equilibrar a resina. Após a passagem da amostra pela coluna, foi realizada a eluição do chumbo retido na resina com 100 mL de HNO<sub>3</sub> 1M, recolhendo-se a solução. A solução eluída foi evaporada até quase a secura e avolumadas até 50 mL de água deionizada (condutividade elétrica de 18,2 M $\Omega$ .cm<sup>-1</sup>).

Fez-se o ajuste do pH entre 4,5-5,0 com (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 40%. Em seguida a solução resultante foi aquecida até ebulição e posteriormente adicionados 2 mL de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 5M, para precipitação do PbCrO<sub>4</sub>, ainda sob aquecimento (Figura 9b).



**Figura 9:** (a) Extração do <sup>210</sup>Pb pela coluna de troca iônica; (b) Precipitação do <sup>210</sup>Pb com o reagente cromato de potássio (material precipitado) (Fonte: Arruda, 2010).

Após resfriamento, o precipitado foi filtrado em sistema do tipo Millipore, utilizando-se filtro de papel de celulose com 0,45 $\mu$ m de abertura de poro, previamente tarado (Figura 10).



**Figura 10: Precipitado de  $^{210}\text{Pb}$  filtrado em papel Millipore.**

Os filtros de papel contendo o material depositado foram secos em estufa a 80°C por 20 minutos, em seguida foram pesados para se determinar o rendimento químico. Foram cobertos com papel contat e após 10 dias, tempo necessário para que os elementos químicos  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{210}\text{Bi}$  entrem em equilíbrio. Posteriormente foi procedida a leitura no detector  $\alpha$  -  $\beta$ , de acordo com a metodologia proposta por Godoy *et al.*, (1998) (Figura 11).



**Figura 11: Equipamento para medida de partículas alfa e beta (Detector Proporcional de Fluxo Gasoso - marca Canberra modelo S5 XLB); (a) Visão geral do detector  $\alpha$ ,  $\beta$  e (b) Detalhe de colocação das amostras para leitura. (Fonte: Arruda, 2010).**

As diversas ações provocadas pelo homem no ambiente podem produzir mudanças significativas na taxa de acúmulo de sedimentos no ambiente. Quando este fato ocorre, o perfil contendo o  $^{210}\text{Pb}$  não suportado ao longo da coluna de sedimentos não é linear, por tal motivo utilizou-se o modelo CRS para a determinação das idades dos sedimentos neste trabalho, tal modelo se baseia nas suposições de que:

1-  $^{210}\text{Pb}$  não suportado é suprido a uma taxa constante para os sedimentos através do tempo;

2- A concentração inicial de  $^{210}\text{Pb}$  no sedimento é variável;

3- A taxa de influxo do sedimento é variável (Noller, 2000).

Inicialmente desenvolvido por Goldeberg (1963), este método busca determinar a idade de qualquer profundidade dentro de uma coluna de sedimentos.

Primeiro a concentração de  $^{210}\text{Pb}$  não suportado  $[C_0(t)]$  no sedimento de  $(t)$  anos de idade deve conformar-se ao argumento de que:

$$C_0(t) r(t) = \text{constante} \quad [1]$$

Onde:

$r$ - é a taxa de sedimentação de massa seca no tempo.

Segundo, a qualquer profundidade  $(x)$  na coluna de sedimentos, a atividade do  $^{210}\text{Pb}$  não suportado ( $C_x$ ) é relacionada pela lei de desintegração radioativa:

$$C_x = C_0 e^{-\lambda t} \quad [2]$$

Onde:  $\lambda$  é constante de desintegração para o  $^{210}\text{Pb}$ .

Partindo dessa equação Appley & Oldfield (1978) desenvolveram uma relação para a idade de um depósito à profundidade  $x$ :

$$T = 1/\lambda \log (A_0/A_x) \quad [3]$$

Onde:

$A_0$  é atividade integrada residual total em  $\text{Bq}/\text{cm}^2$

$A_x$  coeficiente atividade integrada residual abaixo da profundidade  $x$   $\text{Bq}/\text{cm}^2$

A taxa de sedimentação (S) em cm/ano foi adquirida por duas metodologias sendo a primeira pela fórmula 4 (Honorato, 2002, adaptada de Appleby & Oldfield, 1978):

$$S = w/\rho' \quad [4]$$

Onde:

w é o fluxo de sedimentos (g/cm<sup>3</sup>.ano)

$\rho'$  é a densidade (g/cm<sup>3</sup>) “in situ” do sedimento a uma profundidade x (Figura 3).

Este valor de  $\rho'$  refere-se a densidade real na camada de sedimento a uma profundidade x, levando-se em consideração o valor da massa úmida total de cada fatia de sedimento (Honorato, 2002).

A segunda metodologia usada para a obtenção dos valores de taxa de sedimentação foi a partir do diagrama Profundidade versus Idade adquiridos pelo método CRS, sendo a taxa de sedimentação o módulo do coeficiente angular da equação da reta de regressão (Godoy, 1998).

#### **4.4. Determinação das concentrações dos elementos maiores, menores e traço**

Os sedimentos destinados às análises geoquímicas foram peneirados, utilizando-se para esse fim peneira plástica com 63 $\mu$ m de abertura para obtenção da fração fina (silte + argila). Não foram feitas análises granulométricas das amostras (quantidade total de cada uma) só a alíquota destinada à Geoquímica sofreu este procedimento de peneiramento.

As concentrações totais dos elementos maiores (Al, Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K, Ti e P) e menores e traços (S, Ag, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, Sr, V, Ba, As, Co, Li, La, Be, Zr, Th, Y, Bi, Ce, Cs, Ga, Ge, Hf, In, Mo, Nb, Rb, Re, Sb, Sc, Se, Sn, Ta, Te, Tl, U e W) nos perfis foram obtidas com um ataque multiácido (HF-HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>-HCl), com leitura em ICP-AES no laboratório comercial ALS Chemex, Canadá.

As concentrações potencialmente biodisponíveis dos elementos químicos Fe, Mg, Mn, Cu, e Zn (elementos químicos analisados até o momento) foram obtidas de acordo com a metodologia proposta por Sutherland (2002), onde o material obtido depois de seco e peneirado foi pesado 0,5g de cada amostra e lixiviados com HCl por 1 hora. Em seguida os lixiviados foram filtrados, transferidos para um frasco de polietileno e avolumados até aproximadamente 50 mL com HNO<sub>3</sub> a 2% (Figura 12 a, b e c).

As concentrações dos elementos foram determinadas pela técnica de espectrometria de absorção atômica por chama (FAAS) utilizando um equipamento Varian modelo GT 110, com lâmpadas multielementares de catodo oco (Figura 12 d).



**Figura 12:** Obtenção das concentrações potencialmente biodisponíveis. (a) lixiviação do sedimento com HCl por 1 hora. (b) lixiviados sendo filtrados, transferidos para um frasco de polietileno, (c) concentrado sendo avolumados até aproximadamente 50 mL com HNO<sub>3</sub> a 2% e (d) aquisição das concentrações pela técnica de espectrometria de absorção atômica por chama (FAAS).

A escolha destes elementos se deve à presença de Mg, Mn, Cu e Zn na fórmula da ração de camarão da linha Camaronina (Tabela 2), comumente usada na carcinicultura (Garlipp, 2006) e portanto, concentrações anômalas destes elementos poderiam indicar contaminações antropogênicas desta fonte. O Fe teve seus valores potencialmente biodisponíveis determinados por ser considerado um importante componente das rochas e solos, totalizando aproximadamente 2,1 % do peso dos sedimentos oxidados transportados para ambientes lacustres e marinhos em uma escala global (Poulton e Raiswell, 2002).

**Tabela 2: Composição parcial da ração de camarão. Fonte: Garlipp (2006)**

Elemento Químico	Concentração (mg.Kg <sup>-1</sup> )
Ca (máx.)	30.000
P (min.)	7.000
Mg	400
Mn	10
Cu	50
Zn	100
I	0,3
Se	0,15

Após a obtenção das concentrações total e parcial dos elementos, realizou-se o cálculo da porcentagem extraída de cada metal pela digestão com HCl em relação à digestão total, obtendo assim o percentual da fração biodisponível (Sutherland, 2002).

#### **4.5. Controle de qualidade das amostras**

A cada dez amostras, digeridas com HCl, uma foi analisada em duplicata para aferir a precisão do equipamento. O limite de detecção foi determinado como sendo três vezes o desvio padrão da análise dos brancos INMETRO (2003).

Durante todo processo analítico, foram utilizados ácidos com alto grau de pureza (suprapuro Merck) e água deionizada com condutividade elétrica de 18,2MΩ cm<sup>-1</sup>. Todo material utilizado (vidrarias, espátulas, frascos de PVC, etc.) foi descontaminado,

sendo imersos em solução de extran a 5% por 24 h, enxaguando-se exaustivamente com água deionizada  $18,2\text{M}\Omega\cdot\text{cm}^{-1}$ . Em seguida foram imersos em solução de ácido nítrico a 10% por 24h, enxaguados e secos em capelas de fluxo laminar. Esse procedimento minimiza os riscos de contaminação das amostras pelos materiais do laboratório.

#### **4.6. Determinação do *background* da área estudada e fator de enriquecimento**

Os níveis de concentração de *background* dos elementos traço são considerados, aqui neste presente trabalho, como os valores de concentração dos elementos traço encontrados nos sedimentos que refletem períodos pretéritos, onde a atividade humana não existia ou era desprezível, sendo considerados os teores encontrados na última camada do testemunho que alcançou a idade mais antiga. Segundo os critérios de Marins *et al.* (2004), o *background* local deve ser determinado partir de amostras de perfis sedimentares com profundidades entre 0,5 m a 1 m, considerando a taxa de sedimentação média dos estuários (0,11 a 0,98 cm/ano) da Costa Leste Brasileira.

Para a avaliação do nível de contaminação histórica foram considerados os limites estabelecidos pelo CONAMA na Resolução nº 344, de 25 de março de 2004 para definir os níveis (3 e 4) de classificação dos sedimentos de águas salinas e salobras (Tabela 4), que adotou os teores aceitáveis definidos pela USEPA (legislação americana), tanto o ERL (Intervalo de efeito baixo), quanto o ERM (Intervalo de efeito médio) (Long *et al.*, 1995), sendo considerado aqui como comparativo os limites abaixo do qual não dever haver efeitos à biota que corresponde ao ERL da USEPA.

Cabe salientar que tais limites referidos nesta resolução foram determinados utilizando extração com ácido forte (ácido nítrico) em forno de micro-ondas, como o ataque utilizado para a determinação das concentrações totais neste trabalho também é considerado um ataque forte a comparação com estes limites é cabível. Obviamente se espera concentrações biodisponíveis abaixo de destes por se tratar de um ataque fraco.

Para os elementos que não possuem seus limites estabelecidos pela legislação foram usados como comparativos os valores referentes às médias mundiais dos folhelhos (Mason e Moore, 1982), por se tratar de uma rocha siltico-argilosa de

granulometria semelhante ao material aqui estudado. No entanto, esta metodologia deve ser aplicada com cautela, pois podem ocorrem significativas variações geológicas que induzirão a erros de interpretação. Isto corrobora a necessidade da determinação dos valores de *background* para a área estudada.

Normalização é um procedimento comum utilizado para detectar e quantificar concentrações irregulares de elementos traço em sedimento. Neste estudo a técnica aplicada para tal foi a determinação do fator de enriquecimento (FE), além da normatização mecânica pelo tamanho da partícula, onde o tamanho dos grãos é controlado, uma vez que todos os dados obtidos são referentes a granulometria menor que 63 $\mu$ m.

O uso de fatores de enriquecimento permite identificar contribuições externas nas concentrações locais de elementos traço, como atividades antrópicas. Para tal foi utilizada a metodologia determinada por Sutherland (2000), que utiliza o Al como elemento normalizador, por se tratar de um componente principal dos aluminosilicatos de granulação fina (argilominerais) com os quais a totalidade de elementos traço se associa. E geralmente sua concentração não é influenciada por fontes antropogênicas (Schropp *et al.*, 1990; Din, 1992). Sutherland (2000) calcula o FE seguindo a fórmula 5 :

$$FE_n = (C_{amostra}/Al_{amostra}) / (BE_{elemento}/BE_{Al}) \quad [5]$$

Sutherland (2000) também propõe uma categorização do grau de poluição em cinco categorias:

1. RE < 2: Enriquesimento mínimo sugestivo de nenhuma ou mínima poluição;
2. RE 2 – 5: Enriquesimento moderado sugestivo de poluição moderada;
3. RE 5 – 20: Enriquesimento significativo sugestivo de poluição significante;
4. RE 20 – 40: Enriquesimento muito alto, indicando poluição muito forte;
5. RE > 40: Ambiente extremamente enriquecido, indicando poluição extrema.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Parâmetros físico-químicos da água

Os parâmetros físico-químicos analisados na água (Tabela 3) foram obtidos em cinco estações de amostragem de sedimentos (Apêndice 3).

**Tabela 3: Parâmetros físico-químicos da água obtidos nas estações de amostragem de sedimentos de fundo do sistema estuarino Goiana-Megaó.**

Parâmetros Físico-Químicos	T-1	T-2	T-4	T-3	T5
Temperatura	28,4	28,4	28,3	28,1	27,8
pH	6,7	6,5	6,7	6,6	6,7
Eh* (mV)	312	308	283	296	279
Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	13.480	13.780	490	1.294	680
Resistividade ( $\text{k}\Omega\text{cm}$ )	0,680	0,708	2,04	0,778	1,46
Sólidos Totais Dissolvidos (STD; ppm)	>1.000	>1.000	348	921	487

\*Os valores de Eh não estão corrigidos para o eletrodo padrão do equipamento.

A água na área apresenta caráter neutro a fracamente básico (Siegel, 2002), com pH variando pouco em torno de 6,6 ao longo do estuário. Apesar deste parâmetro ser influenciado pelos ciclos das marés, a capacidade de neutralização que há no ecossistema aquático resultante do efeito de buffer (tampão) geralmente não permite variações significantes do pH (Macêdo *et al.*, 2000). Porém mostra uma pequena influência marinha no momento da medição dos dados (vazante da maré). Os valores de pH encontram-se dentro dos limites desejáveis (5 a 9) conforme os padrões do CONAMA (Resolução 357/2005).

Os valores positivos de Eh indicam ambientes oxidantes para todas as estações, obtendo valor máximo na estação T-2 (312 mV), localizada a montante e menor nas estações T-5 (279 mV), localizada no estuário médio (Barletta & Costa, 2009).

Tratando-se, portanto de um ambiente oxidante, neutro a fracamente básico e com baixa taxa de precipitação (140 mm de chuva) no mês da coleta (Figura 5), estas condições mesmo que propensas a variações sazonais facilita a mobilidade (

Tabela 4), no ambiente superficial (excetuando-se o Mn), da maioria dos metais traço, que serão descritos mais a frente.

**Tabela 4: Condições de imobilidade de metais traço em relação ao pH e Eh no ambiente superficial, destacado em vermelho as condições características da área (modificado de Siegel, 2002).**

Águas Oxidantes Barreiras Geoquímica	Fortemente Ácido	Fracamente Ácido	Neutro ou fracamente básico	Fortemente Básico
	pH <3	pH 3 – 6,5	pH 6,5 – 8,5	pH >8,5
Oxidante	Fe	Fe, Mn, Co	Mn	
Redutor (H <sub>2</sub> S)	Cu, Hg, Pb, Cd, Sn, As, Sb, Mo	Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Sn, Cr e Mo	Cr, Mo, Se, V, Mo, V	Cu, Zn, Cr e As

A condutividade elétrica apresentou valores entre 490 a 13.780 µ/cm, comum em ambientes estuarinos onde a salinidade é elevada e assim como pH e Eh também é variada em função do regime de marés (Lacerda *et al.*, 2004). Este parâmetro é correlacionado com a quantidade de STD.

Nas amostras estudadas os valores de STD variam de 348 ppm a >10.000 ppm com valores mais elevados à jusante (T-1, T-2 e T-3) (Tabela 3) que podem ser interpretados como sendo o reflexo da influência marinha no sistema estuarino, os valores encontrados nestas estações são superiores a 500 ppm, que é o limite estipulado pelo CONAMA para (Resolução 357/2005).

Nas estações T-1 e T-2, localizadas no rio Megaó, os valores de STD excedem o valor máximo detectável pelo condutivímetro, sendo muito superior ao valor obtido na estação T-3 (também a jusante) localizado no rio Goiana.

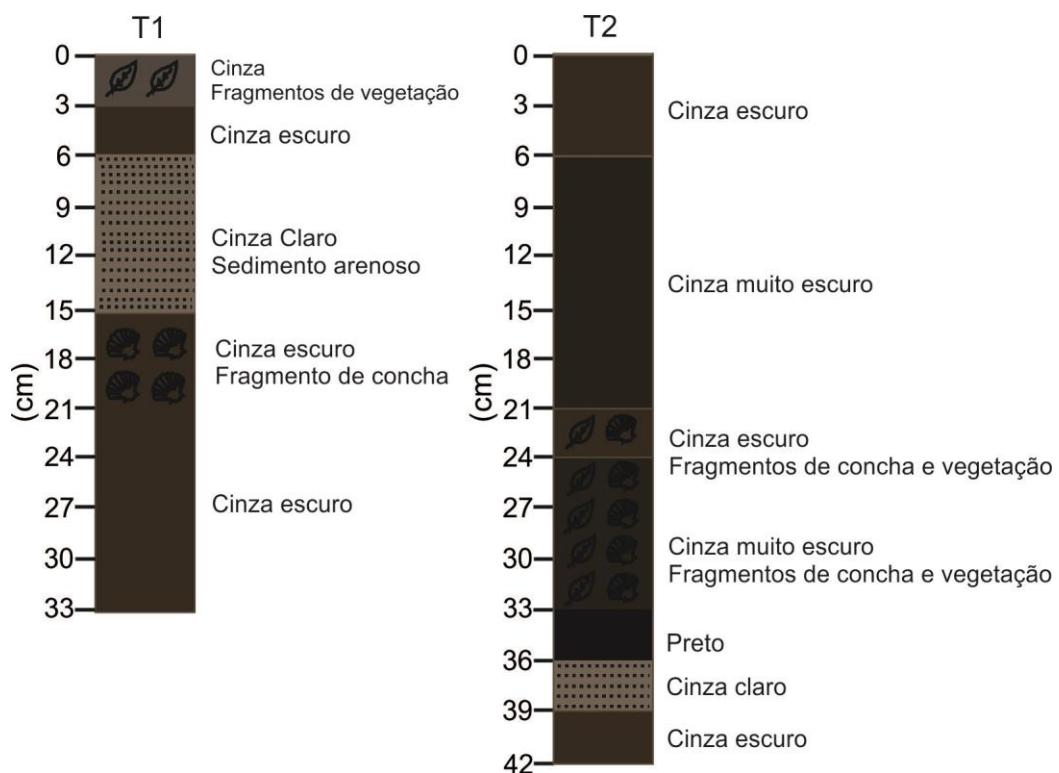
Alguns fatores podem ser responsáveis pelos altos teores de STD, encontrados na água da área estudada, como por exemplo; a influência da alta hidrodinâmica, ou pelo elevado aporte de efluentes orgânicos e inorgânicos. Estes podem ser derivados da fazenda de criação de camarão, localizada na Ilha de Tariri (Atlantis Aquicultura) ou decorrentes do despejo doméstico no povoado Quilombola São Lourenço de Goiana, localizado às margens do rio Megaó.

## 5.2. Descrição dos testemunhos

O testemunho T-1 apresentou coloração predominantemente cinza escuro com sedimentos finos (silte + argila), intercalações de cor cinza claro e sedimentos com mais areia nas camadas entre 6 a 15 cm de profundidade. Há presença de vegetação

principalmente no topo do testemunho, e fragmentos de conchas entre 15 e 21 cm de profundidade. Apresentou odor de sulfeto ao longo do testemunho, aparentando se tratar de sedimentos ricos em matéria orgânica (Figura 13).

O testemunho T-2 apresentou predominância de coloração cinza escuro muito intenso, sendo o mais escuro dos três perfis analisados. Porém no topo do testemunho a coloração é cinza escuro nos primeiros 6 cm de profundidade e a camada entre 33-36 cm é de cor preta. Este perfil apresentou odor de sulfeto, aparentando sedimentos ricos em MO. A granulometria é predominantemente fina, sendo identificada a presença de sedimentos arenosos entre 36 e 39 cm de profundidade, entre o intervalo de 21 e 33 cm de profundidade observou-se a presença de fragmentos de conchas e de vegetação (Figura 13).



**Figura 13: Descrição visual dos testemunhos T1 e T2 localizados no rio Megaô.**

A coloração do testemunho T-3 varia de cinza claro a cinza escuro, a granulometria é fina com exceção dos primeiros 3 cm de profundidade e da porção basal que são mais arenosos e apresentou odor de enxofre assim como os demais e vegetação em quase todos os intervalos e conchas na porção abaixo dos 24 cm de profundidade.

O testemunho T-4 apresentou uma maior variação em relação à coloração, sendo castanho claro até 9 cm de profundidade, cinza amarelado até 24 cm, e cinza nas porções da base do perfil. Presença de conchas nos intervalos entre 6 e 9 cm e 18 a 30

com e ausência de vegetação ao longo de todo testemunho, sendo que também apresentou odor de amônia e granulometria predomimantemente arenosa.

A coloração do testemunho T-5 varia de cinza amarelado a cinza escuro, porém de 15 a 24 cm de profundidade há uma mudança para cinza escuro com presença de conchas e vegetação, sendo predominante a granulometria fina porém entre 21 e 27 cm de profundidade há presença de sedimentos arenosos.

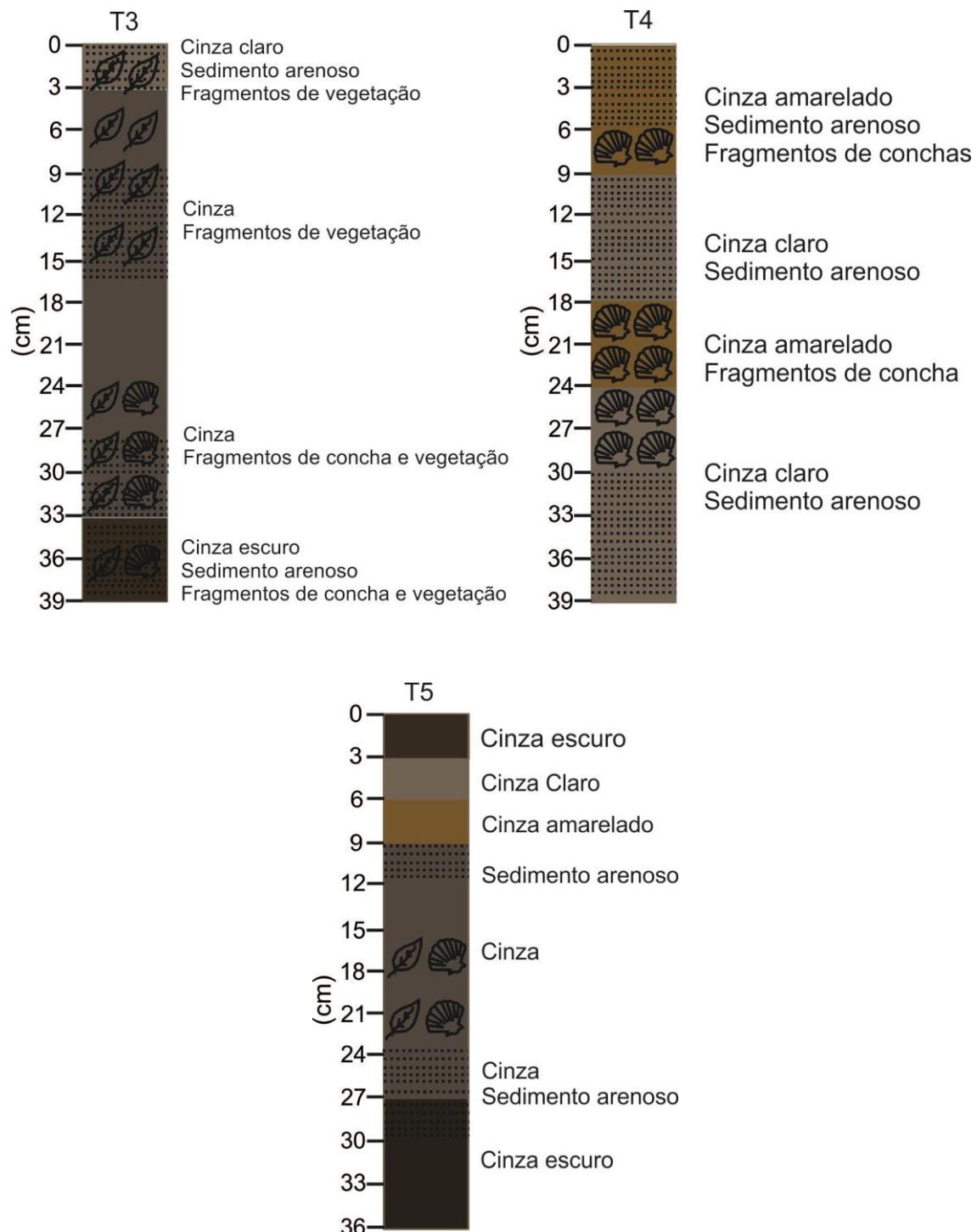


Figura 14: Descrição visual dos testemunhos T-3, T-4 e T-5, localizados no rio Gojana.

Algumas mudanças na cor dos sedimentos podem indicar variações nas condições de oxi-redução dos ambientes deposicionais. Segundo Clark *et al.* (1998), mudanças da coloração dos sedimentos de tons castanho ou vermelho para tons preto ou cinza indicam mudança de um ambiente oxidado para um ambiente reduzido.

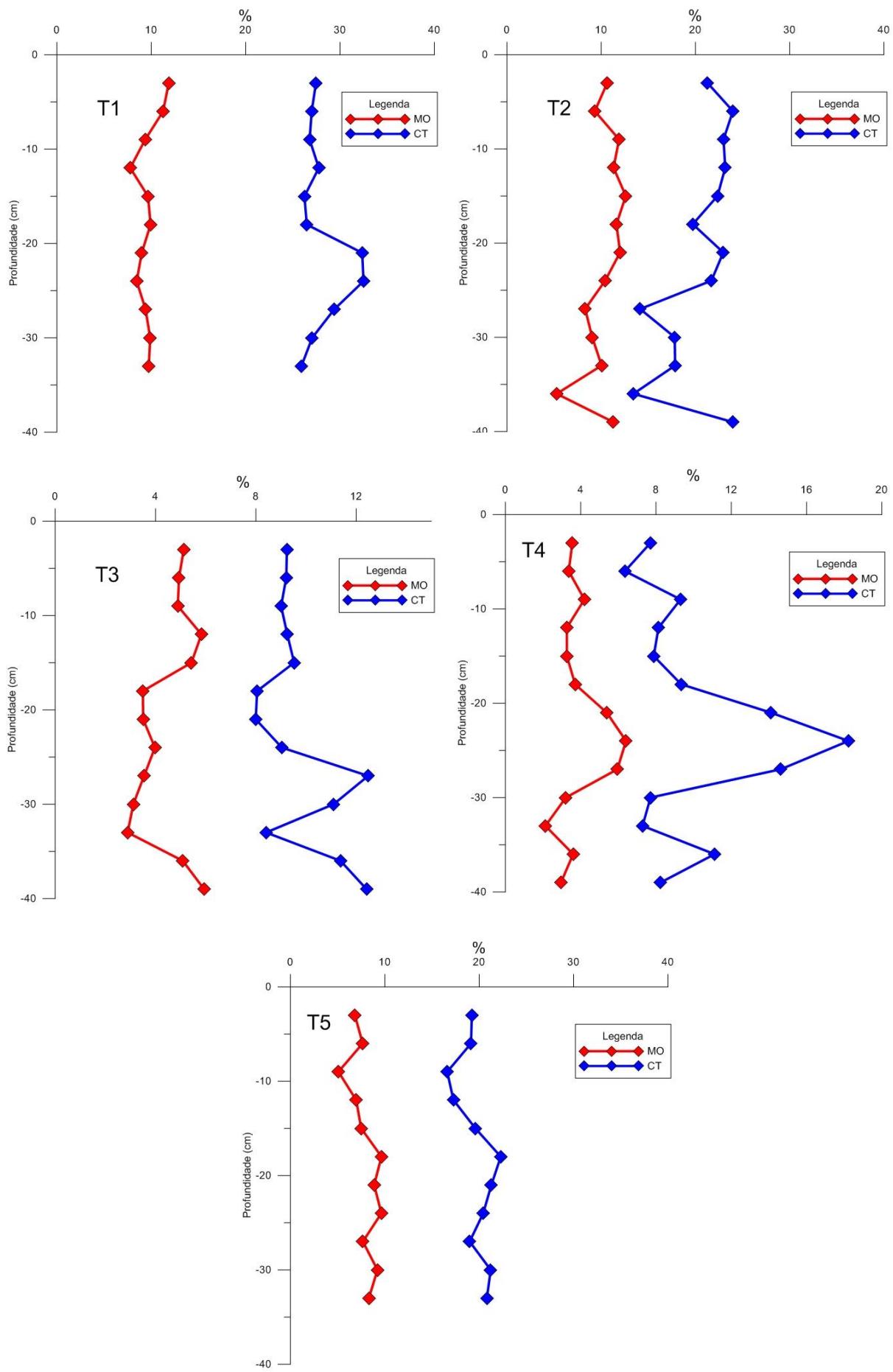
A presença de dessa variação de cor pode indicar que a área passou por mudanças das condições físico-químicas durante o tempo, os momentos de condição reduzida provavelmente foi a responsável pelo odor de sulfeto observado nos testemunhos, pois nestes ambientes o íon sulfeto ( $S^{2-}$ ) é gerado a partir da redução dos íons sulfato ( $(SO_4)^{2-}$ ), através de bactérias anaeróbicas (Carvalho, 2001).

### **5.3. Determinação das concentrações de matéria orgânica (MO) e carbonatos totais (CT)**

As concentrações de MO e CT são dois dos principais parâmetros utilizados nos estudos de contaminação em sedimentos de fundo, por sua relação direta com elementos traço e demais possíveis contaminantes. Através da análise dos resultados mostrados nos gráficos na Figura 15 foram descritas as distribuições verticais das concentrações destes parâmetros ao longo dos testemunhos estudados.

As concentrações de MO e CT mais elevadas foram encontrados nos testemunhos T-1 e T-2 localizados no Rio Megaó (Figura 15). No testemunho T-1 MO varia de 8,4 a 11,8 % e os CT variam entre 26,2 e 32,4%. No testemunho T-2 é de 5,3 a 12,6% de MO e de 13,4 e 23,9 % de CT, demonstrando uma dinâmica sedimentar diferente da dinâmica do rio Goiana, provavelmente de menor fluxo de sedimentos e profundidade, o que favorece o acúmulo.

Os fatores antrópicos que poderiam ser relacionados a este elevados valores são as atividades como a criação de camarão e o cultivo de cana-de-açúcar presentes na região. Estas são relacionadas à retirada da vegetação de mangue e mata ciliar, tendo como consequência o aumento do aporte sedimentar e da quantidade de MO nos sedimentos finos. Isso pode acarretar no assoreamento do rio e no sufocamento de raízes (Oliveira & Mattos, 2007).



**Figura 15: Gráficos da porcentagem de MO e CT (%) nos sedimentos dos testemunhos no sistema estuarino Goiana-Megaó.**

Esta provável relação com a atividade de carcinicultura na região, iniciada na década de 90, pode ser observada através das relativamente mais elevadas concentrações de MO nos testemunhos T-1 e T-2 nos 15 cm de profundidade (topo), que correspondem a aproximadamente aos últimos 20 anos (ver ítem 5.4).

É importante frisar que a maior parte da MO encontrada em sedimentos estuarinos é derivada da decomposição de folhas, raízes e troncos das árvores de mangue (Lacerda *et al.*, 1995).

No rio Goiana são encontradas concentrações relativamente menores de MO e CT quando comparados aos do rio Megaó, onde os resultados obtidos indicam: variação de 3,1 a 5,9% de MO e de 8 a 12,4% de CT no testemunho T-3, de 2,1 a 6,4% de MO e de 6,3 a 18,2% de CT no testemunho T-4 e de 5,1 a 9,6% de MO e de 16,6 a 22,3% de CT no testemunho T-5.

As concentrações relativamente menores no rio Goiana podem ser um indício de uma maior hidrodinâmica neste rio, já que o mesmo é composto por canais maiores, mais largos e profundos.

A presença de rochas aflorantes da Formação Gramame na margem sul do rio Mega, pode influenciar nos altos teores de CT encontrados neste trabalho, acima dos valores normalmente encontrados em ambientes estuarinos. Por outro lado, como se trata de sedimentos com alto percentual de material fino (silte e argila) é possível que além dos carbonatos também estejam sendo extraídos outros elementos (*e.g.* Na, K), além da água estrutural dos argilominerais (perda ao fogo em 1000 °C).

As elevadas concentrações de MO e CT no testemunho T-5, quando comparados aos valores dos testemunhos T-3 e T-4, são justificados provavelmente por se tratar de um canal menor do Rio Goiana, com menor hidrodinâmica, o que favorece a deposição de sedimentos finos e consequentemente maiores concentrações de MO e CT. Além de ser observada uma abundância de vegetação de mangue neste canal.

As baixas concentrações de MO e CT nos testemunhos T-4 e T-3, já eram esperadas pela predominância de sedimentos arenosos. O pico de MO e CT localizado a 27 cm de profundidade no perfil T-4 coincide com a maior concentração de fragmentos finos de vegetação e conchas, o que pode justificar estes valores elevados de concentração, quando comparados aos outros intervalos do mesmo testemunhos.

No Apêndice 5 encontram-se disponíveis as matrizes de correlação dos testemunhos T-1, T-2, T-3, T-4 e T-5, onde é comprovada a nítida alta correlação entre estes parâmetros.

De modo geral o coeficiente de Pearson demostra uma correlação de moderada a fortemente positiva entre MO e CT (variando de 0,79 a 0,9), mostrando que os dois parâmetros são corretos, e que portanto, o aumento ou diminuição de um destes em um determinado local depende das respectivas concentrações do outro.

Apenas o testemunho T-1 apresentou correlação moderadamente negativa (-0,4) mostrando que nesse ponto as concentrações de MO independe das concentrações de CT, provavelmente pela maior influência marinha. O testemunho T-3 apresenta coeficiente de Pearson igual a 0,2. Tanto no testemunho T-1 quanto no T-3 são encontradas altas correlações quando consideradas apenas as camadas do topo destes testemunhos. O que corrobora a premissa de Manahan (2005) que diz que essas altas correlações se acentuam nos sedimentos superficiais.

#### **5.4. Geocronologia**

Foram analisadas as camadas superficiais dos sedimentos de fundo (até o limite de detecção do  $^{210}\text{Pb}$ ), atingindo 33 cm, 42 cm, 39 cm, 39 cm e 36 cm de profundidade nos testemunhos T-1, T-2, T-3, T-4 e T-5, respectivamente, com o intuito de detectar a idade e a taxa de sedimentação desses sedimentos, utilizando o método de datação de  $^{210}\text{Pb}$ .

O modelo matemático utilizado para este processo foi o do CRS, já que o mesmo considera as mudanças ambientais, como variações sazonais e dragagem do sedimento que podem alterar a disposição dos estratos de sedimento de fundo, provocando distorção nos valores de idade obtidos no ecossistema aquático, bem como acarretar em grandes variáveis sobre a taxa de sedimentação em ambientes (Honorato, 2002). Todos os testemunhos investigados neste trabalho apresentaram uma regularidade nas idades encontradas, e foram obtidas os seguintes resultados: T-1 com idades de 1934 a 2011, T-2 de 1919 a 2010, T-3 de 1922 a 2010, T-4 de 1915 a 2010 e T-5 de 1925 a 2010 (Figura 16).

A concentração de  $^{210}\text{Pb}$  não suportado naturalmente deve diminuir quando a profundidade dos depósitos aumenta, devido ao seu decaimento radioativo. Perfis anômalos de  $^{210}\text{Pb}$  em testemunhos podem estar relacionados às variações da taxa de sedimentação ou entrada repentina de sedimento de alóctones ou de atividades antrópicas (Tessler, 2006).

O  $^{210}\text{Pb}$  em excesso em ambientes sedimentares varia de acordo com as características do clima da região, escoamento superficial e pela origem da massa de ar predominante da região, oceânica ou continental (Ruiz-Fernández *et al.*, 2003). Tmabém pode ser relacionado com a quantidade de sedimento fino e matéria orgânica presente em todas as camadas dos testemunhos (Honorato, 2002).

Como dito, ambientes que possuem taxa de sedimentação constante geralmente apresentam perfil exponencial de decaimento radioativo do radioisótopo  $^{210}\text{Pb}$  em excesso (Reinikainen *et al.*, 1997).

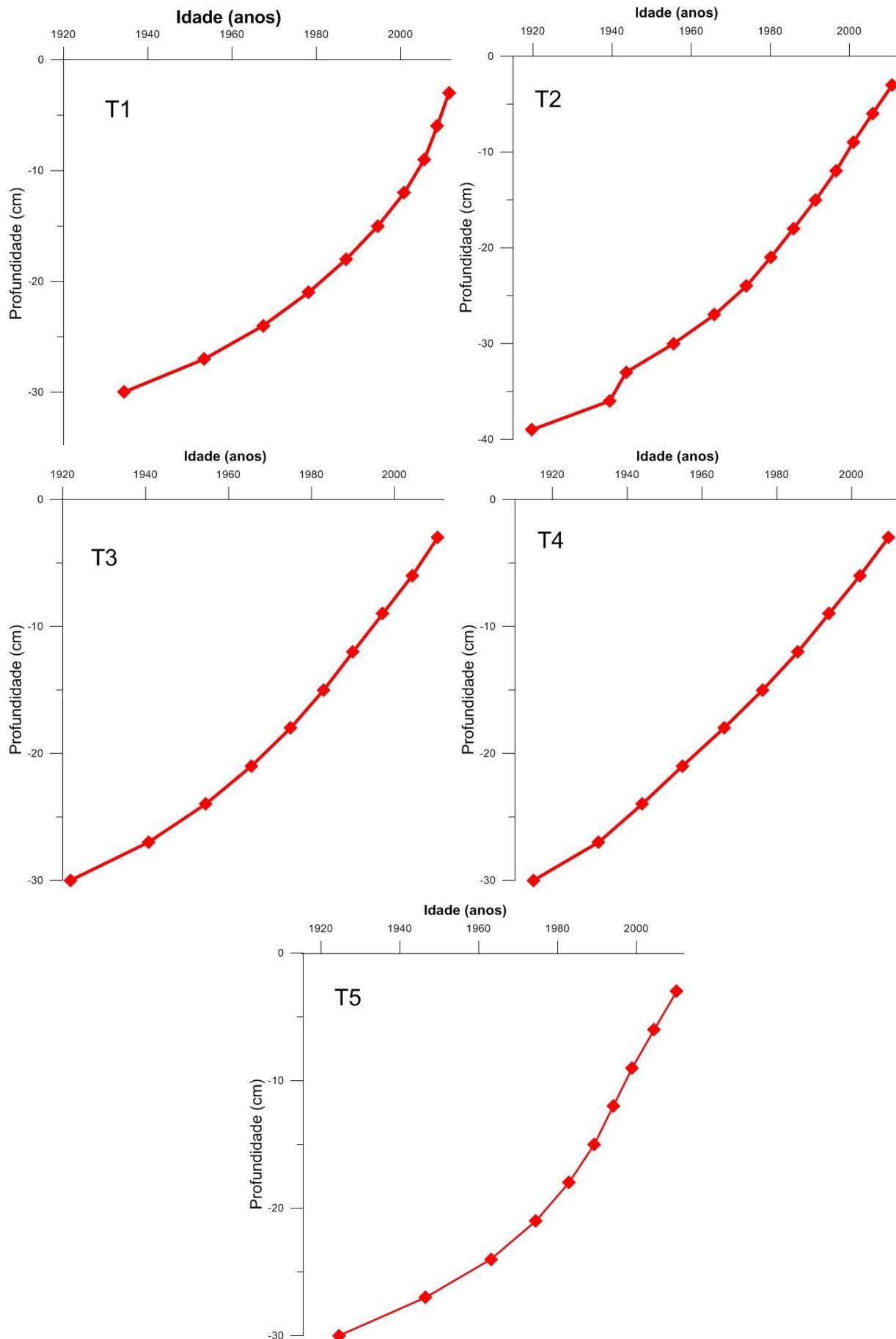
Conforme a Figura 15, apenas o testemunho T-3 apresentou uma tendência de diminuir as atividades de  $^{210}\text{Pb}$  em excesso do topo em direção à base do testemunho. Porém, podem ser verificadas algumas variações ao longo deste testemunho, indicando provável mudança na taxa de sedimentação e/ou variação brusca da granulometria dos sedimentos, ao longo do tempo.

O perfil do  $^{210}\text{Pb}$  em excesso dos testemunhos T-2, T-4 e T-5 (Figura 17) apresentaram valores bem variáveis, não mostraram diminuição do topo em direção à base, isto pode ser reflexo da variação na dinâmica sedimentar nos rios Goiana e Megaó, com oscilações entre processos de erosão e sedimentação ao longo do tempo, indicando um ambiente de taxa de sedimentação anual variada. Já o testemunho T-1 apresenta praticamente dois períodos de acumulação com o ano de 1987 como marco.

Sabe-se que alguns fatores que podem causar o empobrecimento do  $^{210}\text{Pb}$  em excesso do material argiloso da camada superior de sedimento para água, são a interferência antrópica, a variação na granulometria ao longo do perfil, a diluição dada pela matéria orgânica lábil, que ainda permaneceria no sedimento imaturo sem formar os compostos estáveis ricos em matéria orgânica.

Além disso, é possível a ocorrência de processos como a bioturbação e a redistribuição vertical de elementos traço, que pode ser provocada pela diagênese da matéria orgânica dos sedimentos, contribuindo para a não observação do decaimento exponencial do  $^{210}\text{Pb}$  em excesso (Monteiro, 2008).

A presença de camadas ricas em componentes minerais alóctones que entram no sistema também podem levar ao empobrecimento do  $^{210}\text{Pb}$ , já que este material alóctone quando na fração areia configura, texturalmente, a baixa capacidade de adsorção, o que promove a diluição do  $^{210}\text{Pb}$  não-suportado (Appleby & Oldfield, 1978)



**Figura 16: Idade das camadas sedimentares dos testemunhos investigados do sistema estuarino Goiana-Megaó.**

Sedimentos alóctones também podem ser responsáveis pelos picos de  $^{210}\text{Pb}$  quando se trata de sedimentos de origem continental (ex. margens do canal) e carreariam  $^{210}\text{Pb}$  não suportado adsorvido, sendo um possível aporte particularmente importante de material durante períodos de acelerada erosão de material fino continental.

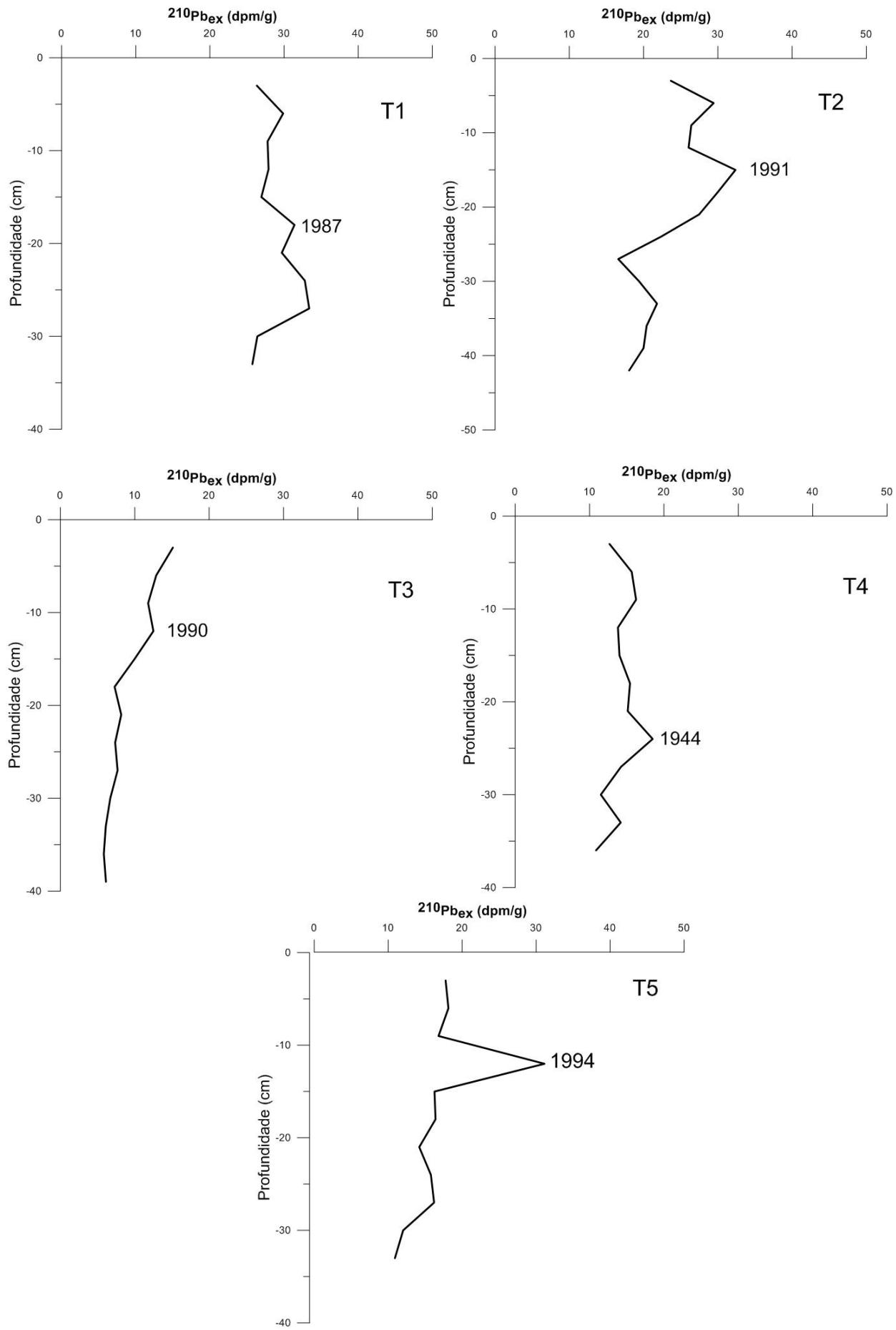
Este comportamento variável do  $^{210}\text{Pb}$  em excesso com a profundidade apresentado pelos testemunhos, justifica a utilização do método CRS (*Constant Rate of Supply*) para se determinar as idades das camadas sedimentares e as taxas de sedimentação, já que este método considera constante não a concentração inicial de  $^{210}\text{Pb}$ , mas sim o fluxo de  $^{210}\text{Pb}$  em excesso, independentemente de variações na taxa de sedimentação (Appleby & Oldfield, 1978).

Os testemunhos T-1 e T-2, localizados do rio Megaó, apresentam os maiores valores de  $^{210}\text{Pb}$  em excesso que condiz com os maiores valores de MO encontrados nos mesmos, o que corrobora a hipótese de um ambiente de baixa hidrodinâmica.

A década de 90 se destaca pela presença de picos de  $^{210}\text{Pb}$  em excesso (testemunhos T-2, T-3 e T-5) e coincide com a implantação da criação de camarão localizados na Ilha de Tariri. Assim esta poderia ser a causa de um maior acúmulo de sedimento, pela construção de canais, barreiras e tanques e erosão dos taludes (Oliveira & Mattos, 2007). Os picos significativos nos testemunhos T-4 e T-5, localizado no estuário superior e médio, respectivamente, podem demonstrar que houve uma mudança no aporte sedimentar com a entrada de sedimentos alóctones em diferentes momentos na história da deposição dos sedimentos no sistema estuarino Goiana-Megaó.

## 5.5. Taxa de sedimentação do sistema estuarino Goiana-Megaó

De modo geral a área vem sofrendo com os impactos do cultivo de cana-de-açúcar (contaminações químicas e mudanças físicas do sistema estuarino) realizado desde o século XVII, provavelmente causado pelo intenso desmatamento para a implantação do cultivo de cana-de-açúcar, atividade muito comum nos tabuleiros e vales dos rios Megaó, Goiana e seus afluentes a montante.

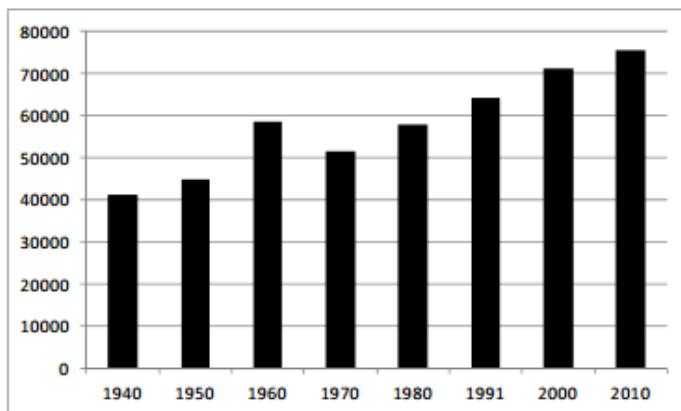


**Figura 17:** Gráficos da variação do  $^{210}\text{Pb}$  em excesso (dpm/g) ao longo dos testemunhos do sistema estuarino Goiana-Megaó, com anos correspondentes a picos de acúmulo de  $^{210}\text{Pb}$  em excesso. 54

Algumas as usinas presentes na bacia do rio Goiana são: a Usina Santa Tereza em Goiana; Usina Aliança, em Aliança; que teve o início de suas atividades em 1914 (hoje desativada); a Usina Cruangi em Timbaúba com início em 1918; e a Usina Barra em Vicência, em 1921, (hoje desativada). Estas usinas podem ter contribuído para variações nos valores das taxas de sedimentação, nas épocas relacionadas. Além da criação de camarão na Ilha de Tariri, que iniciou suas atividades da década de 90, já que esta atividade é comumente relacionada às mudanças na hidrodinâmica dos estuários.

A Figura 18 apresenta o histórico da densidade demográfica do município de Goiana desde 1940 até 2010 (Formiga, 2012), que pode ter relação com o aumento da taxa de sedimentação, principalmente depois da década de 1960.

Alguns autores adaptaram o método CRS, para a obtenção dos valores das taxas de sedimentação (mm/ano). Neste trabalho serão expostos os resultados obtidos por dois destes métodos, sendo o método matemático exposto por Appleby & Oldfield (1978), modificado por Honorato (2002), e o método adaptado por Godoy (1998), no qual a taxa de sedimentação é determinada pelo módulo do coeficiente angular da equação da reta de regressão dos diagramas de profundidade *versus* idade.



Fonte: IBGE (1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1991, 2000, 2010).

**Figura 18: Histórico da densidade demográfica do município de Goiana desde 1940 até 2010 (Formiga, 2012).**

### 5.5.1. *Taxa de sedimentação do sistema estuarino Goiana-Megaó, calculada pelo método de Honorato (2002).*

A taxa de sedimentação ( $\text{mm.ano}^{-1}$ ) foi determinada até aproximadamente 100 anos, que corresponde a cinco tempos de meia-vida do  $^{210}\text{Pb}$ . Os valores, nos testemunhos amostrados no rio Goiana, variam de 1,9 mm/ano a 7,1 mm/ano no

testemunho T-3, de 1,9 mm/ano a 6,7 mm/ano no testemunho T-4 e de 1,6 mm / ano a 9 mm/ ano no testemunho T-5. Este último testemunho apresenta os maiores valores dentre todos os pontos estudados no sistema estuarino (Apêndice 5).

Nos testemunhos do rio Megaó, os valores de taxa de sedimentação variam de 1,8 mm/ ano a 7,6 mm/ ano no testemunho T-1, e no testemunho T-2, varia de 1,8 mm/ano a 8,3 mm/ano.

Estes valores são compatíveis com os encontrados na maioria das áreas estuarinas brasileiras em que foram determinadas taxas de sedimentação, onde variam, via de regra, de 1,1 a 9,8 mm/ano. Porém maiores valores normalmente são encontrados em complexos estuarinos-lagunares. Para estuários que desaguam na plataforma continental, como é o caso deste sistema estuarino, são esperadas taxas de sedimentação menores que 3 mm/ano (Marins, 2004).

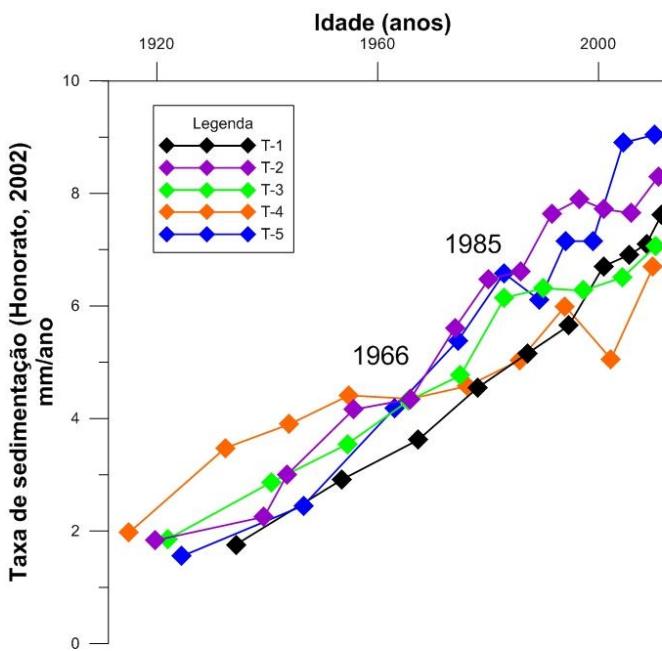
#### *5.5.1.1. Taxa de sedimentação do rio Goiana calculada pelo método de Honorato (2002)*

As médias das taxas de sedimentação dos testemunhos T-3, T-4 e T-5 são respectivamente 4,97 mm/ ano, 4,5 mm/ ano e 5,9 mm/ ano (Figura 19) sendo valores atípicos para este tipo de estuário, demonstrando uma possível influência antrópica no aporte sedimentar na região.

Analizando os gráficos das taxas de sedimentação determinada por este método (Figura 19), é possível identificar três períodos de sedimentação distintos, que são comuns nos dois testemunhos do rio Goiana: o primeiro entre 1915 e 1966, o segundo entre 1967 e 1984 e o terceiro de 1985 a 2010.

No primeiro período (1915 a 1966) as médias da taxa de sedimentação nos testemunhos do rio Goiana, T-3, T-4 e T-5, são respectivamente 3,5 mm/ ano, 3,4 mm/ ano e 2,7 mm/ano. Estes valores são próximos aos esperados para estuários de desaguam na plataforma continental sem influência antrópica (Marins, 2004).

As relativamente altas concentrações entre 1915 e 1966 no testemunho T-4, mais a montante no rio Goiana, indicam que a princípio, o fluxo de sedimentos do continente para o mar exercia maior influência sobre este sistema estuarino.



**Figura 19: Variação da taxa de sedimentação ao longo dos anos no sistema estuarino Goiana-Megaó, pelo método de Honorato (2002).**

O intervalo de maior ascensão da taxa de sedimentação neste testemunho (1915 a 1932) coincide com o período de implementação de três das principais usinas da região, citadas acima, além de ser uma época de grande produção da agroindústria açucareira pernambucana, onde a produção de açucareira deste Estado chega a superar a produção da região Sudeste (Andrade, 1989).

No segundo período (1967 e 1984) a taxa de sedimentação passa para 4,7 mm/ano no testemunho T-4, para 5 mm/ano no T-3, e 6 mm/ano no T-5. Estas taxas são maiores que as taxas encontradas em áreas preservadas de interferências antrópicas, segundo Marins (2004). Este aumento na taxa de sedimentação pode ser justificada pelo aumento populacional de aproximadamente 20% neste período.

É importante salientar que após 1966 ocorre uma inversão, onde os testemunhos T-3 e T-5 passam a registrar uma taxa de sedimentação superior ao testemunho T-4. Isso poderia representar um aumento na contribuição do aporte sedimentar marinho. E neste caso, isto estaria confirmado as expectativas, já que Godoy (1995) menciona que normalmente são esperadas taxas maiores nas proximidades das desembocaduras dos rios.

O terceiro período (1985 a 2010) tem taxas médias de sedimentação 6,4 mm/ano, 5,7 mm/ano e 7,7 mm/ano para os testemunhos T-3, T-4 e T-5, respectivamente. Neste período a influência antrópica é melhor observada pela maior variação da taxa de

sedimentação, que nos períodos anteriores mantiveram tendência ao aumento, constante e progressivo.

Observando imagens aéreas da região (Apêndice 1) nota-se que para a construção dos tanques da fazenda de camarão na Ilha de Tariti, um canal do rio Goiana foi abortado, o que provavelmente acarretou em uma taxa praticamente constante entre os anos de 1990 e 2004, observada no testemunho T-3.

#### **5.5.1.2. *Taxa de sedimentação do rio Megaó calculada pelo método de Honorato (2002)***

Analizando a variação da taxa de sedimentação nos testemunhos T-1 e T-2 localizado no rio Megaó (Figura 19) é possível observar que estes apresentam comportamento linear e crescente no valor da média da taxa de sedimentação, sendo respectivamente 5,2 mm/ano e 5,6 mm/ano. Estes valores estão bem acima do esperado para esse tipo de estuário (Marins, 2004).

O testemunho T-1 apresenta comportamento diferenciado quando comparado ao T-2 e aos testemunhos do rio Goiana (T-3, T-4 e T-5), pois apresenta valores sempre inferiores, contudo também mostra a tendência ao aumento com o passar dos anos. Este aumento no T-1 é quase que constante, e portanto não registra nenhuma variação que possa estar relacionado às atividades antrópicas realizadas na área.

Assim como os testemunhos T-3 e T-5 do rio Goiana, o T-2 no rio Megaó apresenta maiores valores que o T-4 após 1966, porém com taxas de sedimentação superiores. Isso provavelmente por se tratar de um ambiente deposicional com menor fluxo de sedimentos, acarretando assim em uma maior deposição. Para este testemunho também podem ser identificados os mesmos três períodos distintos de taxa de sedimentação: 1919-1966, 1967-1984, 1985-2010.

Em uma escala global os períodos aqui considerados como anômalos para este sistema estuarino, em relação à taxa de sedimentação, coincidem com dois eventos deposicionais marcantes no Globo, que são: o pico principal dos testes nucleares identificado no hemisfério sul (1965) e o evento de inundação causado pelo Ciclone Domoina que atingiu a costa de Moçambique, África (1984) (Humphries *et al.*, 2010 e Arnaud *et al.* 2006).

Para afirmar a real influência destes eventos de escala global na área estudada são necessários estudos mais aprofundados neste sistema estuarino, com um suporte

também nos demais estuários do Nordeste Brasileiro, através da datação por  $^{210}\text{Pb}$  atrelados com datação  $^{137}\text{Cs}$ .

Os resultados aqui apresentados levam a crer num aumento da taxa de sedimentação nos próximos anos, o que pode acarretar no assoreamento gradativo desses rios e consequentemente prejudicar a navegação e levar à obstrução de canais menos profundos.

### **5.5.2. *Determinação da taxa de sedimentação do sistema estuarino Goiana-Megaó calculada pelo método de Godoy (1998)***

A obtenção dos valores de taxa de sedimentação a partir do diagrama profundidade *versus* idade, adquiridos pelo método CRS, vem sendo amplamente usado na literatura (Godoy, 1998; Monteiro, 2008; Lima, 2008; Nery & Bonotto, 2011; Bonotto, 2006).

A Figura 20 apresenta os perfis das idades  $^{210}\text{Pb}$  obtidas com as análises dos testemunhos T-1 T-2, T-3, T-4 e T-5 *versus* a profundidade. Os módulos dos coeficientes angulares das equações das retas da representam as taxas de sedimentação dos respectivos intervalos de profundidade em cm/ano.

Com isso, foram obtidas taxas de sedimentações médias de 4 mm/ano para os dois perfis do rio Megaó (T-1 e T-2), e de 3,1 mm/ano para os testemunhos do rio Goiana (T-3, T-4 e T-5).

Apenas as taxas de sedimentação do rio Megaó supera as taxas de 3 mm/ano, que são esperadas para estuários que desaguam na plataforma continental (Marins, 2004, Lima, 2008; Silva, 2008; Arruda, 2010). Salienta-se que os valores encontrados em todos os testemunhos do sistema estuarino Goiana-Megaó mostram valores dentro dos valores esperados para áreas preservadas (Marins, 2004 e Godoy, 1998).

#### **5.5.2.1. *Determinação da taxa de sedimentação do rio Goiana calculada pelo método de Godoy (1998)***

O testemunho T-3 apresentou taxa de sedimentação de 2 mm/ano de 30 até 21 cm de profundidade (de 1922 a 1966). A partir desta profundidade foi verificado um aumento na taxa de sedimentação de 2 mm/ano para 4,2 mm/ano (de 1966 até 2010).

O testemunho T-5 também apresentou uma mudança de taxa de sedimentação a partir da década de 1960. Aumentando de 1,8 mm/ano para 5,2 mm/ano, depois desta década.

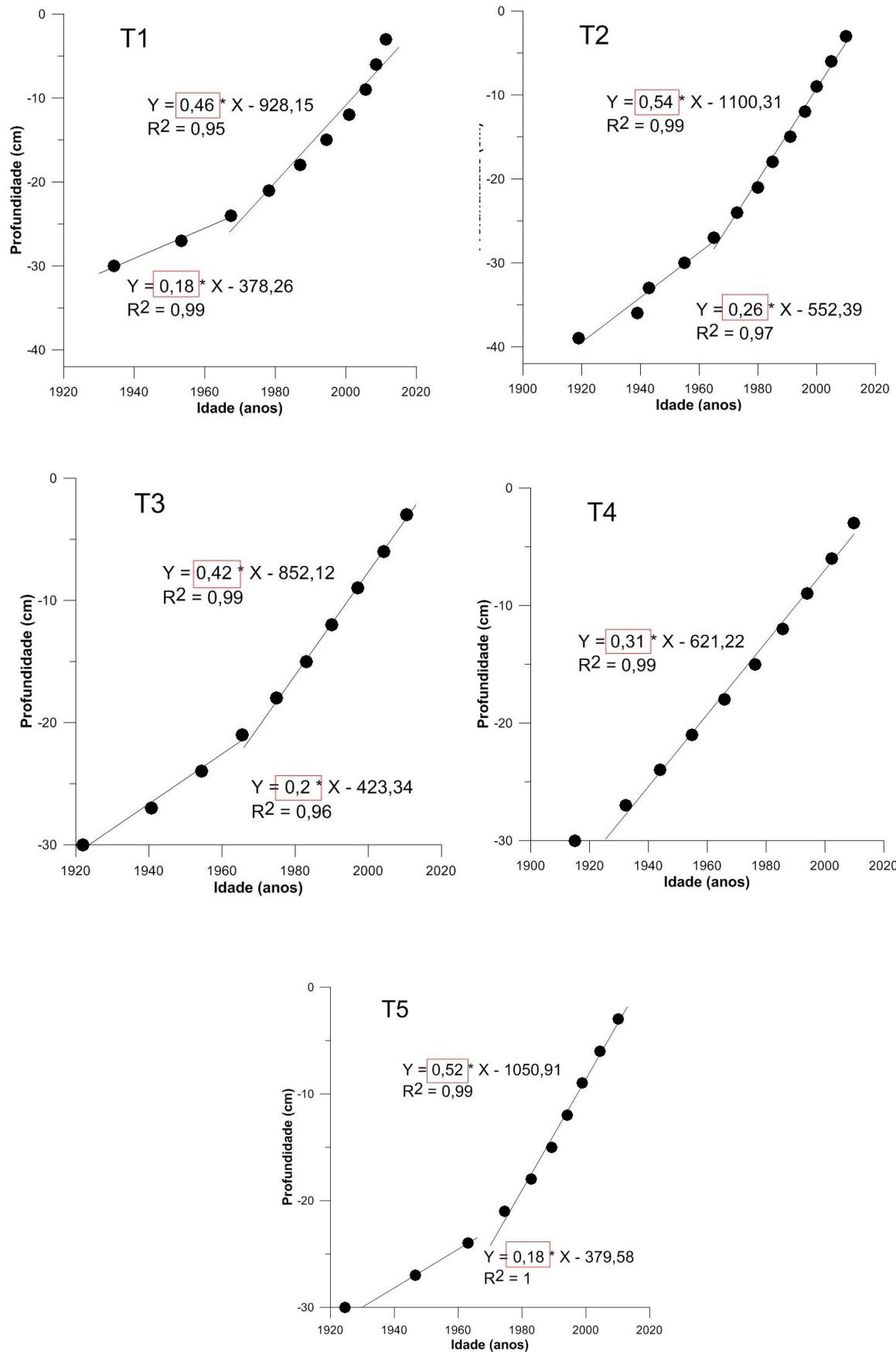
O fato dos testemunhos T-3 e T-5 registrarem esta mudança na taxa de sedimentação pode ser devido ao processo de industrialização e urbanização, que acarretaram no aumento aumento populacional do município de Goiana, já que na Figura 18 é possível observar que a densidade demográfica do município tem um crescente aumento a partir da década de 1960. Em 2010 este aumento atingiu praticamente o dobro do número de habitantes no município na década de 1940.

Nas décadas de 1960 e 1970 vários programas que incentivo à produção de cana-de-açúcar como, o Programa Nacional de melhoramento da cana-de-açúcar (PLANASULCAR); o Programa de Racionalização da Indústria Açucareira, o Programa de Apoio à Indústria, açucareira e o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL). Nesta época a cana-de-açúcar passou a ser cultivada também nos tabuleiros, antes considerados impróprios para o cultivo de cana, por se tratar de solos predominantemente pobres lixiviados (Andrade, 1989 e Nascimento & Lima, 2009).

O testemunho T-4, localizado mais a montante da desembocadura do rio Goiana, apresenta taxa de sedimentação de 3,1 mm/ano constante ao longo dos 100 anos estudados, demonstrando não sofrer ou registrar interferências externas, antrópicas ou naturais. Portanto os sedimentos carreados das regiões localizadas à montante do rio Goiana, não ficam retidos no estuário superior, sendo transportados e concentrados nos estuários médio e inferior.

Por outro lado, o fato de que apenas os testemunhos localizados próximos à desembocadura do rio Goiana (T-3 e T-5) sofreram variações na taxa de sedimentação pode sugerir uma intensa influência marinha nesse sistema estuarino.

Rocha *et al.* (2009) observou que houve um aumento de vegetação de mangue de 1994 para 2008 nos rios Goiana e Megaó, através a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto. Este aumento de vegetação revelou que houve provavelmente uma diminuição do fluxo destes rios e consequentemente uma maior entrada de água salgada no continente desenvolvendo mais áreas de mangue. Isto mostra que eventos naturais também podem ter contribuído para as mudanças na taxa de sedimentação relatadas.



**Figura 20: Taxa de sedimentação calculada pelo método adaptado de Godoy, 1988, sendo a taxa de sedimentação o valor do coeficiente de variação da equação de reta (destacado em vermelho).**

### 5.5.2.2. *Determinação da taxa de sedimentação do rio Megaó calculada pelo método de Godoy (1998)*

Os testemunhos localizados no rio Megaó apresentam maiores valores de taxa sedimentar média, quando comparados aos valores encontrados no rio Goiana. O testemunho T-1 tem valores de taxa de sedimentação 1,7 mm/ano antes de 1966 e 5,2 mm/ano depois de 1966 por outro lado o testemunho T-2 apresenta valores de 2,6 mm/ano antes de 1966 e de 5,4 mm/ano após este ano.

Assim como os testemunhos T-3 e T-5, localizados no rio Goiana, igualmente próximos à desembocadura, os testemunhos coletados no rio Megaó, apresentam o aumento da taxa de sedimentação após 1966, mostrando que provavelmente, estes também estão sendo influenciados pelo maior aporte sedimentar marinho ou que os mesmos retém o material sedimentar trazido das regiões a montante deste sistema estuarino.

## 5.6. Análises geoquímicas

Foram escolhidos três testemunhos para serem utilizados nas análises geoquímicas, sendo: o testemunho T-2, localizado no rio Megaó, e os testemunhos T-3 e T-4 localizados no rio Goiana, a jusante e a montante do rio Goiana, respectivamente. Estes testemunhos foram selecionados de modo a melhor representar espacialmente a área estudada.

Nas alíquotas retiradas das seções seccionadas a cada 3 cm dos testemunhos foram determinadas as concentrações totais dos elementos maiores (Al, Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K, Ti e P), menores e traços (S, Ag, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, Sr, V, Ba, As, Co, Li, La, Be, Zr, Th, Y, Bi, Ce, Cs, Ga, Ge, Hf, In, Mo, Nb, Rb, Re, Sb, Sc, Se, Sn, Ta, Te, Tl, U e W). Além das concentrações potencialmente biodisponíveis dos elementos maiores (Fe, Mg, Mn) e traços (Cu e Zn) do sistema estuarino Goiana-Megaó. Os resultados completos destas análises constam no Apêndice 4.

As amostras dos testemunhos analisados apresentaram concentrações totais de Te e Re abaixo do limite de detecção ( $< 0,05$  ppm,  $< 0,02$  ppm, respectivamente) do método analítico, ou muito próximo destes limites. Por conta destas concentrações

pouco significativas estes elementos não foram utilizados na execução das matrizes de correlação elaboradas.

Os picos de concentrações totais de mais de 50% dos elementos químicos analisados foram: Ba: 1470 ppm; Be: 2,52 ppm; Bi: 0,3 ppm; Co: 19,3 ppm; Cr: 102 ppm; Cs: 7,69 ppm; Cu: 39,6 ppm; Ga: 31,1 ppm; In: 0,095 ppm; K: 20.100 ppm; Nb: 31,3 ppm; Ni: 42,2 ppm; P: 1120 ppm; Rb: 109,5 ppm; Sc: 21,2 ppm; Sn: 3,8; Ti: 0,709 ppm; V: 126 ppm; W: 1,4 ppm; Y: 48,4 ppm; Zn: 108 ppm.

Todos estes picos foram encontrados no testemunho T-4, que está localizado mais a montante do rio Goiana. Este fato pode indicar tanto a presença de fontes contaminantes (naturais ou antrópicas) localizadas na regiões a montante deste sistema estuarino, quanto uma maior presença de argilominerais e óxidos de ferro e manganês neste ponto, já que este também apresenta os maiores teores e Al, Fe e Mn (105.500 ppm; 59.900 ppm; 1.130 ppm, respectivamente).

As menores concentrações totais dos elementos foram encontradas no testemunho T-3, localizado a jusante do rio Goiana, mostrando que a maioria dos elementos precipita antes de alcançar a desembocadura do rio, ou não ficam aprisionadas nos sedimentos por conta da hidrodinâmica.

O testemunho T-3 apresenta baixa porcentagem de MO (Figura 15) e várias camadas com predominância de sedimentos arenosos (Figura 14). Estes fatores também podem justificar as baixas concentrações dos elementos analisados neste testemunho, pois sabidamente desfavorecem o acúmulo de elementos químicos.

Adicionalmente, o testemunho T-3 apresenta teores elevados de Ca, Mg, e Sr, mostrando uma influência de sedimentos carbonáticos de origem marinha recente.

Como dito as concentrações potencialmente biodisponíveis foram analisadas apenas para os elementos Cu, Fe, Mg, Mn e Zn. Estes elementos químicos apresentaram suas maiores concentrações também no testemunho T-4, exceto o Mg que apresentou suas maiores concentrações no testemunho T-2.

Assim como nas concentrações totais, esse agrupamento de elementos no testemunho T-4 mostra que a maior parte dos elementos oriundos de fontes localizadas à montante do rio Goiana ficam retidas no estuário superior ou médio, não atingindo o estuário inferior, provavelmente pelo aumento da salinidade, ou presença de sedimento mais grossos nesta porção (maior hidrodinâmica).

Os períodos de mudança na taxa de sedimentação aqui calculados com marcos em 1965 (pelos métodos de Honorato (2002) e Godoy (1998)) e 1985 (pelo método de

Honorato (2002)) apresentam-se também marcados (coincidentes) com picos de concentração (total ou biodisponível) de As, Cu, Al, Pb nos testemunhos T-2 e T-4 e Ba, e Mn apenas no testemunho T-2. Neste caso o As, Cu e Pb são comuns em resíduos da cana-de açúcar (Kienkens, 1990; Alloway, 1995).

As porcentagens das concentrações potencialmente biodisponíveis em relação às concentrações totais (Apêndice 7) mostraram-se significativamente elevadas para todos os elementos, que foram analisadas pelos dois tipos de ataque. As maiores porcentagens de Cu (47%), Fe (24%) e Mn (84%) foram encontradas no testemunho T-4, sugerindo que uma significativa quantidade destes elementos potencialmente biodisponíveis está sendo retida nos sedimentos da porção superior do estuário, não chegando ao estuário inferior (próximo à desembocadura).

O Mg (58%) mostra que boa parte da porção biodisponível está nos testemunhos T-2 e T-4. E como este elemento está associado normalmente a sedimentos carbonáticos de origem marinha, isto revela uma menor influência marinha no estuário superior e médio. As porcentagens potencialmente biodisponíveis de Zn (30%) mostram ter uma distribuição uniforme nas porções analisadas do estuário, mostrando pouca variação ao longo do mesmo.

Os resultados analíticos das concentrações totais das amostras dos testemunhos (T-2, T-3 e T-4) de sedimentos de fundo do sistema estuarino Goiana-Megaó foram submetidos ao tratamento estatístico de Matriz de Correlação, definindo os coeficientes de correlação de Pearson (Apêndice 5).

Serão considerados como relevantes os grupamentos de elementos químicos que apresentaram forte correlação positiva ou negativa ( $\pm 0,8 \leq r \leq \pm 1$ ), com nível de confiabilidade ( $p < 0,05$ ). Não são discutidas as matrizes de correlação envolvendo as concentrações potencialmente biodisponíveis por não terem sido encontradas correlações significativas.

A MO e CT não apresentaram correlações significativas com as concentrações dos elementos químicos no testemunho T-3, possivelmente por este apresentar maior quantidade de sedimentos arenosos (Figura 14). Altas correlações, entre estes dois parâmetros foram encontradas nos testemunhos T-2 e T-4 com apenas 14 elementos dos 48 analisados.

Quando considerados apenas os valores superficiais de MO, CT e os elementos analisados dos três testemunhos foram encontradas altas correlações com a maioria dos

elementos químicos, o que corrobora a premissa de Manahan (2005) que diz que MO e CT são fixadores de elementos traço no ambiente superficial.

Optou-se por confeccionar uma matriz de correlação para cada testemunho levando em consideração as concentrações totais, por se considerar que estes estão sendo influenciados por diferentes regimes energéticos, pois estão relativamente distanciados entre si, além de provavelmente estarem sofrendo influência de diferentes fontes contaminantes e fases minerais retentoras dos elementos químicos.

Abaixo se encontra as discussão e interpretações mais detalhada das correlações encontradas na matriz de correlação em cada elemento químico analisado.

#### ***5.6.1. Matriz de correlação das concentrações totais envolvendo os elementos maiores e traço – Testemunho T-2***

A análise das matrizes de correlação das concentrações totais do testemunho T-2, localizado no rio Megaó, revelou uma forte correlação positiva entre o Al com 15 elementos dos 48 elementos analisados.

Doze elementos (Co, Cs, Fe, Ga, In, Ni, Rb, Sc, Sn, Tl, V, Zn) também apresentam alta correlação com CT, que também são correlatos entre si. Isto mostra que tais elementos provavelmente estão associados aos argilominerais, uma vez que o Al reflete a composição química desse grupo de minerais (Apêndice 5b).

A presença do Fe neste grupo de elementos levanta a hipótese da possível associação dos mesmos com os óxidos de Fe. Alta correlação entre Al e CT não é esperada, já que normalmente os CT estão associados a alcalinos terrosos com afinidade geoquímica com Ca e Mg, como Sr e Ba, por exemplo.

Provavelmente, não só CT foram calcinados quando os sedimentos foram submetidos à temperatura de 1.050°C, como descrito na metodologia (ítem 4.4). Juntamente com estes podem ter sido extraídos também elementos associados à água intersticial dos minerais presentes nas amostras (e.g. matéria orgânica dissolvida e/ou coloidal, e fosfatos) (Araujo, 2010).

O material terrígeno da plataforma continental Pernambucana é composto basicamente por quartzo, argilominerais, feldspatos potássicos, e presença dispersa de minerais micáceos (muscovita) (Marques, 2008), e portanto tal material poderia contribuir com elementos químicos como Si, Al, e K, principalmente.

O Ca apresentou forte correlação ( $>0,8$ ) com Sr, e correlações intermediárias (entre 0,6 e 0,8) com o Mg e CT, como é esperado para os testemunhos localizados próximos à desembocadura, já que estes são elementos típicos de sedimentos carbonáticos de origem marinha. Outra provável origem para essa associação é a proximidade deste testemunho com rochas da Formação Gramame que afloram na margem sul do rio Megaó (Apêndice 3).

A alta correlação Fe e Ti pode representar uma grande quantidade vestígios de ilmenita, que é um mineral pesado bastante comum nesta região. Marques (2008) diz que este mineral encontra-se bem disperso na plataforma continental Pernambucana por estar presente em granulometria bastante variada, o que possibilitaria a chegada destes na porção do estuário mais influenciada pela ação das marés.

O Pb e P apresentam maiores concentrações em direção ao todo, mostrando uma correlação negativa com a profundidade, demonstrando uma maior mobilidade para estes elementos ou uma fonte recente de contaminantes destes elementos. A forte correlação negativa de Zr, U, Hf com o Al demonstra uma origem diferente para estes elementos, estes têm alta correlação Ba, Ge, Sr, comumente associados a sedimentos de origem carbonáticas.

#### **5.6.2. *Matriz de correlação das concentrações totais envolvendo os elementos maiores e traço – testemunho T-3***

O testemunho T-3 está localizado a jusante do rio Goiana e sua matriz de correlação apresentou forte correlação positiva do Al com um grupo de elementos, composto por 18 elementos (Be, Bi, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, In, Na, b, Rb, Sc, Sn, Tl, V e Zn). Estes são provavelmente de origem continental, associados aos argilominerais e óxidos-hidróxidos de ferro (Apêndice 5c).

As fortes correlações ( $>0,8$ ) correlações observadas entre o Pb e o Cu (Mason & Moore, 1982) e Co e Ni (Manahan, 2005) representam associações geoquímicas naturais do meio geogênico, o que poderia representar a presença natural destes elementos no estuário, afastando a hipótese de contaminação antrópica por esses elementos.

O Ca apresentou alta correlação com o Sr, e correlações médias com o Mg e CT, o que corrobora a origem carbonática marinha recente destes elementos.

Os elementos Co, Cs, Cu, Ga, In, Ni, Rb, Sn e V apresentaram alta correlação negativa com o Ca e Sr, este por sua vez também apresenta correlação negativa com Al, Be, e Sc indicando, que todos estes elementos, excetuando-se o Ca e o Sr, devem ter origem continental, de fonte geogênica (pois constituem associação geoquímica natural: (i) Co-Cu-Ni-V-Sc, (ii) Cs-Rb, e (iii) Ga-Al-Be (plagioclásios)), ou antrópica.

Como já era esperado não foram encontradas altas correlações dos metais com a MO e os CT, já que estas são comumente encontradas na porção superficial dos testemunhos (Manahan, 2005).

#### **5.6.3. Matriz de correlação das concentrações totais envolvendo os elementos maiores e traço – testemunho T-4**

Esta matriz de correlação apresentou o maior numero de correlações positivas e fortes, representando a porção mais a montante do rio Goiana da área estudada. Nesta foram encontradas correlações positivas entre o Al com 18 elementos (Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, In, Li, Mg, Mn, Mo, P, Sc, Sn, Ti, V, W e Zn).

A maior parte destes elementos também apresentam correlações fortemente positivas na matriz de correlação envolvendo os resultados do testemunho T-3 mais a jusante neste rio. Isto provavelmente mostra que sedimentos continentais são transportados até a desembocadura, e mantém na sua composição a provável associação com os argilominerais e óxidos de ferro e manganês.

O Ca e Sr continuam a ter forte correlação positiva, porém estes elementos apresentam correlações negativas com o Mg e CT, provavelmente demonstrando uma menor influência marinha, como era esperado pela posição do testemunho T-4. Por outro lado os testemunhos T-3 e T-4 encontram-se distantes da provável fonte geogênica de Ca, Sr e Mg (Formação Gramame), o que também pode justificar estes menores valores (Apêndice 2).

Os elementos químicos Zr e Hf (zircão), Na, K e Ba, Ca e Sr (feldspatos) apresentaram forte correlação negativa com o Al, mostrando que estes não ocorrem associados aos argilominerais continentais.

#### **5.6.4. Comparação das concentrações (potencialmente biodisponíveis e totais) dos elementos químicos dos sedimentos de fundo dos testemunhos estudados com valores de *background* local, composição média dos folhelhos mundiais e valores estabelecidos pelo CONAMA**

Mesmo a área sendo afetada pelas consequências do cultivo de cana-de-açúcar desde o final do século XVII, os valores de *background* aqui considerados são os referentes à camada basal do testemunho que alcançou a idade mais antiga (1915) e possui valor de taxa de sedimentação esperado para regiões protegidas ou não antropicamente impactadas, indicados por Marins (2004).

As concentrações totais da camada basal do testemunho T-4, localizado mais a montante da desembocadura, datado de 1915 e com taxa de sedimentação de 3 mm/ano, foram consideradas como *background* e tais valores estão destacados na tabela de dados vista no Apêndice 4.

Os resultados obtidos para as concentrações totais e potencialmente biodisponíveis dos elementos supracitados nos testemunhos encontram-se no Apêndice 4. Para melhor visualização e interpretação da distribuição temporal dos elementos químicos mais representativos do ponto de vista ambiental, foram confeccionados gráficos representativos dos elementos mais significativos da distribuição vertical das concentrações ao logo dos testemunhos apresentados no Apêndice 8.

No Apêndice 8 estes valores de concentração podem ser comparados diretamente com o *background* local considerado neste trabalho, com os limites estabelecidos pelo CONAMA, e com a composição global do folhelhos. Estes limites do CONAMA correspondem às concentrações abaixo da qual não são esperados efeitos adversos à biota (Resolução 344/2004) para sedimentos adquiridos por dragagem.

Os valores máximos dos intervalos da composição global para folhelhos, são aqui considerados pois estas rochas apresentam granulometria semelhante àquela das amostras de sedimento de fundo analisadas (Mason & Moore, 1982; Govett, 1983).

Todos os valores usados como comparativos neste trabalho (composição dos folhelhos mundiais, CONAMA e *background* local) foram adquiridos por digestão de ataque forte, portanto representam à fração total dos elementos analisados.

A relevância da comparação dos valores de *background* local com as concentrações obtidas reside no fato de que o *background* local fornece indícios das condições pretéritas (antes da mais considerável intensidade da influência

antropogênica) dos sedimentos de fundo da região e as concentrações encontradas ao longo dos testemunhos (em direção ao tempo mais recente) indicam um possível enriquecimento ou deficiência de determinado elemento.

Serão considerados contaminantes os elementos que apresentam concentrações três vezes maiores ou iguais aos valores de *background* local, podendo ser potencialmente nocivos à biota (Gough, 1993).

As concentrações potencialmente biodisponíveis determinadas neste trabalho apresentam-se sistematicamente inferiores às concentrações totais, como esperado. E estão todas estas concentrações abaixo dos valores de *background* local, do CONAMA e da composição dos folhelhos mundiais (neste caso, com exceção do Mg no testemunho T-2, e do Zn no testemunho T-3), independente da sua localização.

No testemunho T-2, localizado no rio Megaó, a jusante da área estuada, apresenta concentrações três vezes maiores que os valores de *background* local apenas para os elementos As (com pico em 1966 cm), Mo (mais antigo que 1975) e S (todo o testemunho deste 1918), mostrando ser potencialmente nocivos à biota (destacar que pior seria o caso se fosse a concentração biodisponível), mostrando uma possível contaminação antrópica destes elementos (exceto o S).

Neste testemunho (T-2) o Cu apresenta seus picos de concentração em 1919 e 1965, chegando a ultrapassar as concentrações definidas pelo CONAMA, mantendo-se acima do *background* local até 2010. Estes dois anos coincidem com os períodos de maior produção de cana-de-açúcar na região, e sendo o Cu comum em resíduos de cana-de-açúcar (Alloway, 1995), pode-se supor tal origem para este elemento químico. Por outro lado, o Cr apresenta-se com concentrações bastante variáveis, apresentando valores acima do *background* e do CONAMA, principalmente depois de 1996.

Ainda tratando do testemunho T-2 são encontradas as maiores concentrações totais de As e estas se encontram acima do *background* local, e ultrapassam os valores do CONAMA entre 1965 e 1985. Destaca-se aqui que estes anos coincidem com os dois períodos de mudança na taxa de sedimentação (calculada pelo método de Honorato (2002)). Este elemento possivelmente é decorrente de contaminação antrópica, oriundos do beneficiamento de cana-de-açúcar (Kienkens, 1990).

O Al também apresenta leve aumento na sua concentração total a partir de 1965, ultrapassando os valores do *background* local e os valores da composição dos folhelhos mundiais, porém mantém-se acima dos limites até 2010.

Os elementos químicos S, Sb e Mo apresentam concentrações totais acima do *background* local principalmente na porção basal do testemunho T-2, indicando ser de provável origem geogênica.

No testemunho T-3 a maior parte dos elementos químicos analisados mostraram concentrações abaixo dos valores aqui usados como comparativos (*background* local, folhelhos mundiais e CONAMA). Apenas o Zn apresentou concentrações acima do *background* local em todo este testemunho.

No testemunho T-2, o Mo e o S apresentam concentrações acima dos valores do *background* local nas porções basais do testemunho (de 1922 até 1975). O Mg e o Pb apresentaram concentrações acima dos valores do *background* local e da composição dos folhelhos mundiais, em todo testemunho T-3. Estes elementos podem portanto, serem considerados naturalmente (origem geogênica) enriquecidos em relação a tais valores orientativos.

As concentrações de Ba encontram-se abaixo do valor definido como *background* para a área, porém apresenta valores acima da composição dos folhelhos mundiais. As concentrações de As ultrapassa os valores do *background* local, mas não às concentrações definidas pelo CONAMA, mostrando não ser potencialmente prejudicial à biota neste ponto (T-3).

No testemunho T-3, o Cr, Cu, dentre os elementos químicos considerados como principais contaminantes, pelo CONAMA (Cr, Ni, Pb, Cu e Zn), apresentam concentrações abaixo dos três valores de referência utilizados para comparação neste trabalho.

O testemunho T-4, teve suas concentrações basais aqui consideradas como os níveis de base natural (*background* local) para toda a área estudada. Este testemunho foi o que apresentou as maiores concentrações para a maioria dos elementos químicos analisados. Isto pode indicar que a maioria dos elementos trazidos das regiões a montante pelos afluentes do rio Goiana, fica retida entre o estuário superior e médio, como o que foi observado pelo estudo com outros parâmetros na mesma área (Barletta & Costa, 2009).

Poucos elementos químicos mostraram-se consideravelmente enriquecidos em relação ao *background* local no testemunho T-4. Porém o Pb possui concentrações acima deste em todo o testemunho T-4.

Por outro lado, os elementos Zn, Ni, Mg, Cu, Cr, e Co tem seus maiores valores coexistentes entre si até o ano de 1976. Isso pode ser decorrente de uma contaminação

antropogênica oriunda de uma fonte à montante da região de estudo, como por exemplo, a extração e correção do solo para cultivo de cana-de-açúcar, que pode utilizar produtos contendo Zn, Pb, Cu, Co e Cr (Kienkens, 1990; Alloway, 1995), já que estes anos (anteriores a 1976) incluem o auge da produção de cana-de-açúcar na região.

O Ni, Cu e Cr, antes de 1976, apresentam concentrações acima dos valores estabelecidos pelo CONAMA, apenas o Ni manteve-se com concentrações acima deste limite após este período, e até o ano de 2010.

O Pb e Ba, provavelmente originados da mineralização de Pb-Ba situada em Camutanga (cerca de 30 km à montante da região estudada), poderiam ser transportados pelo Capibaribe-Mirim até a região estuarina. Na região estuarina estudada estes elementos apresentam elevadas concentrações após 1955 no testemunho T-4. Isto poderia refletir uma dispersão a partir do garimpo naquela mineralização, que pelos registros foi ativo na década de 1930 (Silva, 2008).

#### **5.6.5. Fator de enriquecimento dos elementos químicos analisados**

O fator de enriquecimento (FE) foi calculado para os elementos analisados neste trabalho, com exceção do Al que foi usado no cálculo como agente normalizador, por ser considerado a assinatura geoquímica dos argilominerais, sabidamente retentores das maiores concentrações de elementos químicos (Apêndice 9). A maior parte dos elementos apresentaram  $FE < 2$  para todas as amostras dos testemunhos, podendo ser considerados como indicadores de ausência de poluição na área estudada.

Por outro lado, o As nas amostras dos testemunhos T-2 (rio Megaó) e T-3 (rio Goiana), localizados à jusante da área estudada, foram encontrados valores maiores que 2 em todas as amostras, principalmente na porção basal do testemunho T-3. Neste caso, este fator mostra enriquecimento moderado para este elemento, sugestivo de poluição moderada.

Estes altos teores de As podem ser justificados pela ausência de correlações positivas do As com Al, Fe e Mn e a maioria dos elementos, o que pode indicar uma origem orgânica para este elemento, já que estas espécies orgânicas tendem a ser menos fortemente sorvidas por minerais do que as espécies inorgânicas (Lima, 2008).

Outra possibilidade é uma contaminação crônica de As oriundo da aplicação de fertilizantes e pesticidas que contribui para a adição deste elemento no solo, que

também atingem os sedimentos de drenagem, usados na atividade de cultivo de cana-de-açúcar (Souza *et al.*, 2007; Pieranguele *et al.*, 2007, Kienkens, 1990).

Uma terceira possibilidade, e mais provável, trata-se da origem geogênica para o As. Neste caso podem ter como fonte, rochas metavulcânicas. Neste aspecto, na região de Timbaúba – Macaparana (50 km à montante da área), Alves de Souza (2012) apontou para presença de uma faixa de rochas metavulcanossedimentares, e/ou serem oriundas da mineralização de Pb e Ba próximos a cidade de Camutanga, já que o As foi detectado nas galenas desta mineralização (Silva *et al.*, 2010).

As relativamente elevadas concentrações de As mais à jusante destas áreas fontes, no sistema estuarino estudado, se justificam por este elemento mostrar comportamento conservativo em ambientes estuarinos, observando-se aumento de seus teores com a elevação da salinidade. Além disso, a adsorção de As por óxidos de Fe-Mn e argilominerais é habitualmente importante na diminuição de sua solubilidade no ambiente aquático. Provavelmente isto não ocorre na área estudada, pois como visto estes não apresentam esta correlação (Lima, 2008).

Os elementos químicos Mo, S e Sb também mostraram FE acima de 2, mostrando provável contaminação moderada. Porém suas relativamente elevadas concentrações ocorrem nas porções basais dos testemunhos T-2 e T-3, devem representar assim concentrações de/ou próximas do *background* local, e portanto seriam de origem geogênica.

Porém não se pode descartar a possibilidade dos elementos: As, Mo, S e Sb estarem associados à contaminações antropogênicas já que são usados comumente em fertilizantes e pigmentos e correção do pH dos solos.

## 6. CONCLUSÕES

A datação  $^{210}\text{Pb}$  forneceu os primeiros registros detalhados da deposição dos sedimentos nos últimos 100 anos do sistema estuarino Goiana-Megaó. Estes dados geocronológicos e taxa de sedimentação calculada por eles, atrelados aos resultados do estudo geoquímico multi-multielementar, permitiu formular um diagnóstico geoquímico histórico e o registro das mudanças na sedimentação neste sistema estuarino.

As tendências temporais de acúmulo de poluentes antrópicos e as mudanças no aporte sedimentar ficaram preservadas nos sedimentos de fundo analisados neste sistema.

O conhecimento dos valores das taxas de sedimentação recentes (últimos 100 anos) obtidos para o sistema estuarino Goiana-Megaó, de acordo com os objetivos principais propostos, representa um importante elemento no conhecimento da dinâmica sedimentar deste sistema.

O modelo de determinação da taxa de sedimentação usado neste trabalho (CRS) possibilitou estimar as taxas de sedimentação e a cronologia de sedimentos de fundo em cinco testemunhos amostrados. Isso indica que a precipitação de  $^{210}\text{Pb}$  para os sedimentos de fundo, na região estudada, foi suficiente para que se pudesse quantificar esse radionuclídeo em níveis superiores aos da radiação de fundo.

Foram obtidos valores de taxa de sedimentação mais elevadas para o rio Megaó mostrando que os rios Goiana e Megaó estão sujeitos a sistemas de dinâmicas sedimentares diferentes. Dados mais coerentes com a literatura foram obtidos pela metodologia de Godoy (1998).

Na área estudada foram obtidos dados de taxa de sedimentação, como: 1,8 mm/ano e 4,6 mm/ano no testemunho T-1; 2,6 mm/ano e 5,4 mm/ano no testemunho T-2; 2 mm/ano e 4,2 mm/ano no testemunho T-3; 1,8 e 5,2 mm/ano no testemunho T-5. Nestes três últimos testemunhos há o registro de uma mudança característica na taxa de sedimentação no ano de 1966.

O testemunho T-4 foi o único que apresentou taxa de sedimentação constante ao longo do tempo investigado (desde 1915), de 3 mm/ano. Tais valores são típicos de regiões preservadas ou pouco afetadas por atividades antropogênicas.

A existência de duas taxas de sedimentação registradas em cada um dos testemunhos (T-1, T-2, T-3 e T-5), se deve provavelmente às mudanças no ambiente de

sedimentação ao longo do tempo, (por volta de 1966). Tais mudanças podem estar relacionadas ao aumento populacional no município de Goiana, marcante na década de 1960.

São necessários estudos de datação de  $^{137}\text{Cs}$  (data material em escala de milhares de anos) atrelados aos de  $^{210}\text{Pb}$  para melhor se analisar os períodos aqui considerados como anômalos, como uma possível identificação de picos dos testes nucleares identificado no hemisfério sul (1965), com base nos isótopos de Cs. Tais testes nucleares podem ser responsáveis por mudanças da dinâmica marinha (e.g. transgressão marinha).

Os resultados das análises geoquímicas nas camadas (de 3 cm cada) dos testemunhos T-2, T-3 e T-4, demonstram que as concentrações dos elementos químicos analisados sugerem que os sedimentos presentes neste sistema são praticamente homogêneas, revelando que não houve muitas mudanças significativas nas fontes destes sedimentos no último século.

Os elementos: As, Mo, S, Sb apresentam valores de  $\text{FE} > 2$ , que mesmo demonstrando poluição moderada tem provável origem geogênica, já que estes elementos forma associações químicas comuns de sulfeto.

Porém não se pode descartar a possibilidade dos elementos As, Mo, S e Sb estarem relacionados a uma contaminação antrópica. Pois estes elementos são comumente usados em fertilizantes e corretores de pH dos solos ácidos, que pode demonstrar uma contaminação nos sedimentos das camadas basais, que correspondem ao auge do cultivo de cana-de-açúcar na região (1915 a 1975).

As maiores concentrações totais de mais de 50% dos elementos analisados (Ba: 1470 ppm; Be: 2,52 ppm; Bi: 0,3 ppm; Co: 19,3 ppm; Cr: 102 ppm; Cs: 7,69 ppm; Cu: 39,6 ppm; Ga: 31,1 ppm; In: 0,095 ppm; K: 20.100 ppm; Nb: 31,3 ppm; Ni: 42,2 ppm; P: 1120 ppm; Rb: 109,5 ppm; Sc: 21,2 ppm; Sn: 3,8; Ti: 0,709 ppm; V: 126 ppm; W: 1,4 ppm; Y: 48,4 ppm; Zn: 108 ppm) são encontrados no testemunho T-4 localizado à montante da área estudada. Isto mostra que estes elementos químicos não atingem os sedimentos do estuário inferior.

Todos estes elementos apresentam correlação positiva com Al, Fe e Mn, indicando que tratam provavelmente de sedimentos terrígenos continentais. Estas maiores concentrações também podem ser controladas pela salinidade, ou seja, as maiores concentrações ocorrem onde a salinidade é menor (T-4).

Para outros elementos químicos, as maiores concentrações (As (3 ppm); Mo (5,1 ppm), S (3,4 ppm) e Sb (0,24 ppm), Ca (3,7 ppm), Sr (603 ppm); Mg (0,8 ppm); La

(188,5 ppm), que apresentam maiores concentrações (As (3 ppm); Mo (5,1 ppm) , S (3,4 ppm) e Sb (0,24 ppm), Ca (3,7 ppm), Sr (603 ppm); Mg (0,8 ppm); La (188,5 ppm)) ocorrem nos testemunhos mais à jusante (T-2 e T-3).

Com exceção dos elementos As, Mo, S e Sb, que podem estar associados a sulfetos ou ter origem antrópica, os demais elementos citados acima devem ser derivados de sedimentos carbonáticos marinhos recentes ou de rochas carbonáticas cretácicas (Formação Gramame; aflorantes na margem sul do rio Megaó – Apêndice 2), já que estes apresentam forte correlação positiva (coeficiente de Pearson  $> 0,8$ ) com Ca, Mg e Sr.

Salienta-se que as concentrações os elementos Ca, Sr e La são relativamente mais elevadas nos sedimentos do rio Goiana em relação ao rio Megaó, o que indicaria que a fonte das rochas carbonáticas cretácicas (presentes apenas no rio Megaó) não produziria as concentrações mais elevadas destes elementos.

As mais elevadas porcentagens da fração biodisponível da concentração dos elementos químicos investigados, em relação às concentrações totais, foram obtidas para o Cu (47%), Fe (24%) e Mn (84%) no testemunho T-4. Isto revela que estes elementos são retidos e mais biodisponibilizados nos sedimentos ainda no estuário superior, onde a salinidade é relativamente menor.

Apesar de apresentarem FE correspondentes áreas não contaminadas, o As e o Cu, no testemunho T-2 e Ni, Cu e Cr, no testemunho T-4, apresentaram concentrações relativamente mais elevadas quando comparados aos valores definidos pela legislação brasileira (CONAMA, resolução Resolução 344/2004). Os picos de concentração destes elementos ocorrem entre 1915 e 1975 e podem estar relacionados à provável contaminação oriunda da cultura de cana-de-açúcar.

Os valores de concentrações dos elementos químicos do *background* local foram aqui estabelecidos como sendo a porção basal do testemunho T-4, pois apresentou a idade mais antiga (1915) encontra na área. Em todo este testemunho a taxa de sedimentação foi constante (3 mm/ano), mostrando que este manteve suas condições naturais preservadas desde a camada basal até a recente.

Estes valores de *background* local foram ultrapassados no testemunho T-4 pelos elementos: Zn, Ni, Mg, Cu, Cr, Co entre 1915 e 1975. O Pb e Ba também ultrapassam esse parâmetro comparativo. Neste caso provavelmente carreados/transportado pelo rio Capibaribe-Mirim, afluente do rio Goiana e originados de uma mineralização de Ba e Pb conhecida na proximidade do município de Camutanga. O As também pode ser

relacionado a esta mineralização (presente na galena), mas também pode ter origem em rochas metavulcânicas identificadas em mapeamento geológico realizado entre Timbaúba e Macaparana, também a montante do rio Goiana.

Este trabalho apresenta a primeira investigação que atrela avaliação temporal e espacial das taxas de sedimentação e geoquímicas do sistema estuarino Goiana-Megaó, e trás uma avaliação de mudanças na deposição de sedimentos induzidas pelo homem ao natural desde 1915. Estas observações sugerem que a estimativa do impacto humano passado registrado em sedimentos dos testemunhos deste sistema estuarino mostra algumas semelhanças entre os rios que o compõe. Porém após a combinação das diferentes análises (geocronologia  $^{210}\text{Pb}$ , elementos químicos, MO, CT, parâmetros físico-químicos) é notória a distinção das fontes de sedimentos (antrópicas ou geogênicas) e do regime de hidrodinâmica entre os rios Goiana e Megaó.

De modo geral pode se dizer que este estuário encontra-se ainda preservado, reportando uma pequena influência antrópica principalmente no período de maior produção de cana-de-açúcar na região (1915 e 1975). Porém este trabalho não descarta a possibilidade de contaminações futuras por estas ou outras fontes antropogênicas, para os mesmos elementos químicos analisados. Isso faz com que torne-se necessário um monitoramento contínuo destes contaminantes ao longo dos próximos anos, principalmente pelo fato da atual implementação de um polo automotivo e um polo farmacoquímico nas proximidades deste estuário.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- ATTENDORN, H.G., BOWEN, R.N.C., 1997. Radioactive and stable isotope Geology. London: Chapman & Hall, 522p.
- BARBOSA, J. A. 2004. - Evolução da Bacia Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno – Formação Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil. Dissertação Mestrado, Pós-Grad.Geociências - UFPE, 217p.
- BARBOSA, J. A. 2007. – Estratigrafia da faixa costeira Recife-Natal (Bacia da Paraíba e Plataforma de Natal), NE Brasil. Tese Doutorado, Pós-Grad.Geociências - UFPE, 270p.
- BARBOSA, J. A., NEUMANN, V.H., LIMA FILHO, M. F., SOUZA, E.M., MORAES, M.A. 2007. - A deposição carbonática na faixa costeira Recife-Natal: aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos. Estudos, 17:3-30.
- BARLETTA, M.; COSTA, M.F., 2009. Living and non-living resources exploitation in a tropical semi-arid estuary. *Journal of Coastal Research*, 56: 371-375.
- BENNER, R., OPSAHL, S., 2001. Molecular indicators of the sources and transformations of dissolved organic matter in the Mississippi River plume. *Organic Geochemistry* 32: 597-611.
- BEURLEN, K. 1967 - Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Bol. Soc. Bras. Geol.*; 16(1): 43-53.
- BONOTTO, D. M., LIMA, J. L. N., 2006.  $^{210}\text{Pb}$ -derived chronology in sediment cores evidencing the anthropogenic occupation history at Corumbataí River basin, Brazil. *Environmental Geology*, 50: 595-611.
- BRAYNER, F. M. M., 1998. Determinação de taxas de retenção de elementos traço por sedimentos orgânicos em um viveiro de piscicultura em área estuarina e urbana. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia São Carlos – Universidade de São Paulo. 103pp.

- BRITO NEVES, B. B. , SANTOS, E. J. , VAN SCHMUS, W . R., 2000. Tectonic History of the Borborema Province. In : Cordani, U. G. , Milani, E . J. , Thomaz Filho, A. , Campos, D. A . (eds.) Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, 31st. International. Geological. Congress, 151-182.
- CAMERON, W. M. & PRITCHARD, D. W., 1963. Estuaries. In: Hill, M.N. (ed.) The Sea. Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas. New York, 306-324.
- CARVALHO, M. D. F. B. D. O., 2001. Modelo AVS contribuindo na avaliação do grau de remobilização e da biodisponibilidade de metais em ecossistemas aquáticos. Niterói. Tese de Doutorado em Geoquímica Ambiental. Depertamento de Geoquímica. Universidade Federal Fluminense - UFF. Rio de Janeiro. 221 p.
- CHATTERJEE, M., SILVA FILHO, E.V., SARKAR, S.K., SELLA, S.M., BHATTACHARYA, A., SATPATHY, K.K., PRASAD, M.V.R., CHAKRABORTY, S., BHATTACHARYA, B.D., 2007. Distribution and possible source of trace elements in the sediment cores of a tropical macrotidal estuary and their ecotoxicological significance. Environment International, 33 (3): 346-356.
- CLARK, M.W., MCCONCHIE, D.M., LEWIS, D.W., SAENGER, P., 1998. Redox stratification and heavy metal partitioning in Avicenniadominated mangrove sediments: a geochemical model. Chemical Geology, 149: 147–171.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente, 23p.
- COSTA, M.F., BARBOSA, S.C.T., BARLETTA, M., DANTAS, D.V., KEHRIG, H.A., SEIXAS, T.G., MALM, O., 2009. Seasonal differences in mercury accumulation in *Trichiurus lepturus* (Cutlassfish) in relation to length and weight in a Northeast Brazilian estuary. Environmental Science and Pollution Research International.

COSTA, M.F., SILVA-CAVALCANTI, J.S., BARBOSA, C.C., PORTUGAL, J.L.,

BARLETTA, M., 2011. Plastics buried in the inter-tidal plain of a tropical estuarine ecosystem. *Journal of Coastal Research*, 64(SI): 339-343.

CPRH (AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS),

2005. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco, 2004. Recife. Disponível em <http://www.cprh.pe.gov.br>.

CUSTODIO, E., 1987. Groundwater problems in coastal areas. Paris: UNESCO, 560p.

DAGG, M.J., BIANCHI, T., MCKEE, B., POWELL, R., 2008. Fates of dissolved and particulate materials from the Mississippi river immediately after discharge into the northern Gulf of Mexico, USA, during a period of low wind stress. *Continental Shelf Research* 28: 1443-1450.

DALRYMPLE, R. W., ZAITLIN, B.A., BOYD, R. Estuarine facies models: Conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62: 1130 – 1146, 1992.

DEAN, W.E., 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*. 44: 242-248.

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

DI TORO, D.M., ZARBA, C.S., HANSEN, D.J., BERRY, W.J., SWARTZ, R.C., COMAN, C.E., PAVLOU, S.P., ALLEN, M.E.; THOMAS, N.A., PASQUIM, R.P., 1991. Technical basis for establishing sediment quality criteria for non-ionic organic chemicals by using equilibrium partitioning. *Environmental Toxicology chemical*, 10: 1541-1583.

DITTMAR, T., LRA, R.J., KATTNER, G., 2001. River or mangrove? Tracing major

organic matter sources in tropical Brazilian coastal waters. *Marine Chemistry*, 73: 253-271.

ERGIN, M; YÖRÜK, R., 1990. Distribution and texture of the bottom sediments in a semienclosed Coastal Inlet, the Izmir bay from the eastern Sea of Marmara (Turkey). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 30: 647-654.

FERNANDES, L. D. F., 2001. Transporte de poluentes em estuários. Trabalho final de curso de licenciatura em engenharia ambiental. Universidade Técnica de Lisboa – Instituto superior Técnico. Lisboa 52p.

FORMIGA, N. F. B., 2012. Perfil demográfico do município de Goiana Pernambuco: 1940-2010. Tese de doutorado. Recife, 31p.

FÖRSTNER, U., WITTMANN, G.T.W., 1983. Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag 2 ed., 486p.

FUKUE, M.; YANAI, M.; SATO, Y.; FUJIKAWA T.; FURUKAWA, Y.; TANIC, S., 2006. *Background* values for evaluation of heavy metal contamination in sediments. *Journal of Hazardous Materials*, 136: 111–119.

GARLIPP, A.B., 2006. Variação espacial e sazonal de elementos maiores e traços no estuário do rio Curimataú (RN), através de dados geoquímicos e de sensoriamento remoto. Rio Grande do Norte. Tese (Doutorado em Geodinâmica). Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 205p.

GARLIPP, A.B., SOUZA NETO, J.A., VALENÇA, L.M.M., MANSO, V.V. Variabilidade histórica de elementos maiores e traços em testemunhos de sedimentos do estuário Goiana-Megaó, Pernambuco, Brasil. X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, 7p. 2010.

GODOY, J. M.; MOREIRA, I.; BRAGANÇA, M. J.; WANDERLEY, C.; MENDES, L.

B., 1995. A study of Guanabara Bay sedimentation rates. In: III ENCONTRO DE APLICAÇÕES NUCLEARES, Águas de Lindóia, SP, Anais. 1: 179-185.

GODOY, J. M.; MOREIRA, I.; WANDERLEY, F. F.; SIMÕES FILHO & MOZETO, A. A. 1998. An alternative method for the determination of excess  $^{210}\text{Pb}$  in sediments. Radiation Protection Dosimetry, 75: 111-115.

GOLDBERG, E.D., 1963. Geocronology with  $^{210}\text{Pb}$  in "Radioactive Dating". International Atomic Energy Agency Symposium Proceedings, Vienna 1962, 121-131.

GOÑI, M.A., YUNKERB, M.B., MACDONALD, R.W., EGLINTON, T.I., 2005. The supply and preservation of ancient and modern components of organic carbon in the Canadian Beaufort Shelf of the Arctic Ocean. Marine Chemistry 93: 53-73.

GOUGH, L.P., 1993. Understanding our fragile environment; lessons from geochemical studies. Geological Survey Circular, 1105: 1-34.

GOVETT G. J. S., 1983. Rock Geochemistry in Mineral Exploration. Handbook of Exploration Geochemistry Serie. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 3: 461p.

HARLEMAN, D.R.F. & ABRAHAM, G., 1966. "One-Dimensional Analysis of Salinity Intrusion in the Rotterdam Waterway, "Delft Hydraulics Laboratory, 44.

HARNAUD, F., MAGAND, O., CHAPRON, E., BERTRAND, S. , BOËS, X., CHARLET, F. & MÉLIÈRES, M.A., 2006. Radionuclides dating ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) of recent lake sediments in a highly active geodynamic setting (Lakes Puyehue and Icalma, Chilean Lake District). Science of the Total Environment, 366: 837-850.

HEM, J. D., 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters. U.S. Geological Survey Water-Supplu Paper 2254. , 3 ed., 263p.

HIDROWEB, 2013. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em janeiro de 2013.

HUMPHRIES, M.S., KINDNESS, A., ELLERY, N.W., HUGHES, C.R.B.N., 2010  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$  derived sediment accumulation rates and their role in the long-term development of the Mkuze River floodplain, South Africa. *Journal Geomorphology*, 119: 88–96.

INMETRO., 2003. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos DQB-CGCRE-008.

HONORATO, E. V., 2002. Sedimentos da Lagoa Olho d'Água: geocronologia e acumulação de elementos traço. Tese de Doutorado, Departamento de energia Nuclear. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 120p.

HORNBERGER, M.I., LUOMA, S.N., GENN, A.V., FULLER, C., ANIMA, R., 1999. Historical trends of metals in the sediments of San Francisco Bay, California. *Marine Chemistry*, 64: 39-55.

IP, C.C.M., LI, X.D., ZHANG, G., WAI, O.W.H., LI, Y.S., 2006. Trace metal distribution in sediments of the Pearl River Estuary and the surrounding coastal area, South China. *Environmental Pollution*, 147 (2): 311-323.

JESUS, H. C. D., COSTA, E. D. A., MENDONÇA, A. S. F., ZANDONADE, E., 2004. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória - ES. *Química Nova*, 27 (3): 1-15.

JETER, H. W., 2000. Determining the ages of recent sediments using measurements of trace radioactivity. *Terra et Aqua*, 78: 21-28.

KERSTEN, M.; SMEDES, F. Normalization procedures for sediment contaminants in spatial and temporal trend monitoring, 2002. *Journal Environmental Monitoring*, 4: 109-115.

KIENKENS, L., 1990 Zinc. In: Alloway, B. J. *Heavy metals in soils*. New York, John Wiley, 261-279.

KRALIK, M., 1999. A rapid procedure for environmental sampling and evaluation of polluted sediments. *Applied Geochemistry*, 14: 807-816.

LACERDA, L. D. D., 1994. Biogequímica de metais pesados em ecossistemas de manguezal. Niterói.. tese (pós doutorado em geoquímica), Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense. UFF. 68p.

LACERDA, L.D., ITTEKKOT, V. AND PATCHINEELAM, S.R., 1995. Biogeochemistry of mangrove soil organic matter: a comparison between Rhizophora and Avicennia soils in south-eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40: 713-720.

LACERDA, S. R., KOENING, M. L., NEUMANN-LEITÃO, S., FLORES-MONTES, M. J., 2004. Phytoplankton nyctemeral variation at a tropical river estuary (Itamaracá – Pernambuco – Brazil). *Braz. J. Biol.*, 64(1): 81-94.

LANDAJO, A., ARANA, G., DIEGO, A.D., ETXEBARRIA, N., ZULOAGA, O., AMOUROUX, D., 2004. Analysis of heavy metal distribution in superficial estuarine sediments (estuary of Bilbao, Basque Country) by open-focused microwave-assisted extraction and ICP-EOS. *Chemosphere*, 56: 1033-1041.

LIMA, E. A. M., 2008. Avaliação da qualidade dos sedimentos e prognósticos geoquímico ambiental, da zona estuarina do rio Botafogo, Pernambuco. Tese de doutorado em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 172p.

LIMA FILHO, M.F., 1998. Análise Estrutural e Estratigráfica da Bacia Pernambuco.

Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 139p.

LIMA, J. L. N., 2000. Hidroquímica pluvial e fluvial na Bacia do Rio Corumbataí (SP)

e relações com o uso do  $^{210}\text{Pb}$  como geocronômetro. Tese de Doutorado em Geociências. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 260 p.

LONG, E., D. MACDONALD, S. SMITH AND F. CALDER. F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management* 19(1): 81-97.

MACHADO W., MOSCATELLI, M., REZENDE, L.G., LACERDA, L.D., 2002. Mercury, zinc, and copper accumulation in mangrove sediments surrounding a large landfill in southeast Brazil. *Environmental Pollution*, 120: 455–461.

MABESOONE, J. M., ALHEIROS, M. M. 1991. Base Estrutural - Faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. In: J.M. Mabesoone, (coord.), Revisão da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do norte. UFPE, Estudos Geológicos, 10: 33-43.

MACÊDO, S. J. de, MONTES, M. de J. F. & LINS, I. C., 2000. Características abióticas da área, pp. 7-25. In: H. M. Barros, E. Eskinazi-Leça, S. J. Macêdo & T. Lima (eds.), Gerenciamento participativo de estuários e manguezais. Ed. Universitária da UFPE, Recife, 252 p.

MAIA, A.D., 2004. Avaliação da geração de drenagem ácida em um solo fabricado em laboratório contendo sulfeto de ferro e matéria orgânica. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 213p.

MANAHAN, S.E. Química Ambiental, 2013. Porto Alegre:Bookman (9 ed) 912 p.

- MARINS, R.V., PAULA FILHO, F.J., LACERDA, L.D., RODRIGUES, S.R., MARQUES, W.S., 2004. Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na costa brasileira. *Química Nova*, 27:763-770.
- MARQUES, W.S., 2008. Geoquímica de carbonatos da plataforma continental Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 117p.
- MASON, B., MOORE, C.B., 1982. *Principles of Geochemistry*. John Wiley e Sons, New York. 344 p.
- MAYER, L.M. & FINK, J.R.K.L., 1980. Granulometric dependence of chromium accumulation in estuarine sediments in Maine. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 2: 491-503.
- MEYERS, P. A., 2003. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Organic Geochemistry*, 34: 261-289.
- MIRANDA, L. B., CASTRO, B. M., KJERFVE, B., 2002. *Princípios de oceanografia Física de estuários*. Edusp. 411p.
- MONTEIRO, F.F., 2008. Histórico de acumulação de elementos traço em sedimentos estuarinos do rio Iguaçu e da região da área de proteção ambiental de Guapimirim, Baía de Guanabara, RJ., Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense, UFF. Rio de Janeiro. 88p.
- MUCCI, J.L.N., SOUZA, A., VIEIRA, A.M., 2004. Estudo ecológico e sanitário do lago do Parque do Guaraciaba em Santo André, São Paulo. São Paulo. Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo. 9: 13-25.
- NAGELKERKN, I., VAN DER VELDE, G., GORISSEN M.W., MEIJER, G.J., VAN T HOT, T., HARTOG, C.D., 2000. Importance of mangroves, seagrass beds

- and the shallow coral reef as a nursery for important coral reef fishes, using a visual census technique. *Estuarine, Costal and Shelf Science*, 51: 31-44.
- NASCIMENTO, R.M.A., LIMA, E.C., 2009. A problemática do desenvolvimento sustentável e o agronegócio canavieiro em Pernambuco. *XIX ENGA*, São Paulo, 1-18.
- NERY, J. R. C., BONOTTO, D.M., 2011.  $^{210}\text{Pb}$  and composition data of near surface sediments and interstitial waters evidencing anthropogenic inputs in Amazon River mouth, Macapá, Brazil. *J. Environmental Radioactivity*, 102: 348-362.
- NOLLER, J. S., 2000. Lead- $^{210}$  Geochronology: Quaternary Geochronology Methods and Applications. AGU reference Shelf 4 The American Geophysical Union.
- OLIVEIRA, G. D.; MATTOS, K. M. C., 2007. Impactos ambientais provocados pela indústria de camarão no município de Nísia Floresta RN. *Rev. Gerenciais* , 6 (2): 183-188.
- PIERANGELI, M. A. P., GUILHERME, L. R. G., CURI, N., COSTA, E. T. S., LIMA, J. M., MARQUES, J. J. G. S. M, FIGUEIREDO, L. F., 2007. Comportamento sortivo, individual e competitivo de metais pesados em latossolo em mineralogia contraste. *Revista Brasileira Ciências do Solo*, 31: 819-826.
- POULTON, S.W., RAISWELL, R., 2002. The low-temperature geochemical cycle of iron: from continental fluxes to marine sediment deposition. *Am. J. Sci.* 302: 774–805.
- PRIMAVERA, J.H., 1998. Mangroves as nurseries: shrimp popuções is mangrove and non-mangrove habtats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46: 457-464.
- PRITCHARD, D.W., 1952. Estuarine hydrography. In: *Advances in Geophysics* 1. (H.E. Landsberg, ed.). Academic Press, New York. 243-280.

PRITCHARD, D.W., 1967. What is an Estuary: Physical viewpoint. In Estuaries.

Publication # 83. AAAS, Washington, D.C.

PROCLIMA/ CPTEC/INEP, 2012. Acesso em Abril de 2012. Disponível em:

[http://www6.cptec.inpe.br/proclima2/balanco\\_hidrico/balancohidrico.shtml](http://www6.cptec.inpe.br/proclima2/balanco_hidrico/balancohidrico.shtml).

REINIKAINEN, P., MERILÄINEN, J. J., VIRTANEN, A., VEIJOLA, H.; AYSTO, J.,

1997. Accuracy of  $^{210}\text{Pb}$  dating in two annually laminated lake sediments with high  $^{137}\text{Cs}$  background. *Applied Radiation and Isotopes*, 48 (7): 1009-1019.

ROBAINA, L.E.S., 1999. Análise ambiental da região de influência do rio dos Sinos entre o arroio Campo Bom e o canal João Corrêa, com ênfase a metais pesados, RS. Porto Alegre. Tese de doutoramento. Instituto de Geociência da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 267p.

ROBBINS, J. A., EDGINGTON, D. N., 1975. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$ . *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 39: 285-304.

ROCHA, B.C., SILVA, H.P., MELO, A.L., SILVA, H.D.B., DOS ANJOS, C.S., 2009. Análise temporal através do sensoriamento remoto no estuário dos rios Goiana e Megaô. in JEPEX, Recife.

SANTOS, E. J., 1996. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrecional na Província Borborema. In: CBG, 39, Salvador. Anais. Salvador: SBG, 1996. 7 il. 6: 47-50.

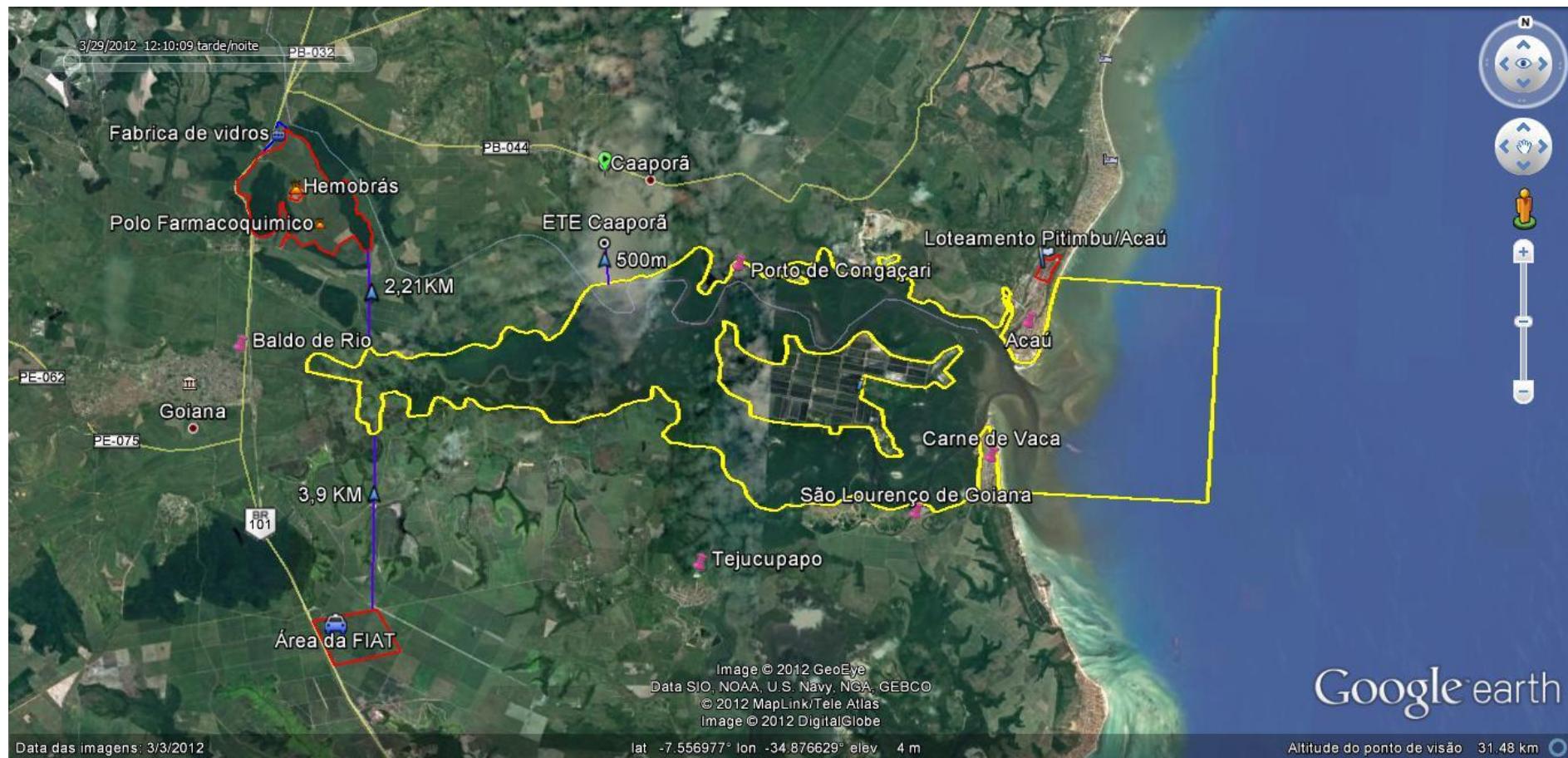
SCHROPP, S.J., LEWIS, F.G., WINDOM, H.L., RYAN, J.D., CALDER, F.D., BURNEY, L.C., 1990. Interpretation of metal concentrations in estuarine sediments of Florida using aluminum as a reference element. *Estuaries*, 13: 227-235.

SIEGEL, F.R., 2002. Environmental geochemistry of potentially toxic metals. Springer. Verlag, Berlin, Germany. 218p.

- SILVA, A.P. L., 2008. Diagnóstico Geoquímico e Geocronologia do Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro, Alagoas. Tese Doutorado em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 130p.
- SILVA, J.B, GALVÍNCIO, J.D., CORRÊA, A.C.B., SILVA, D.G., MACHADO, C.C.C., 2011. Classificação Geomorfológica dos Estuários do Estado de Pernambuco (Brasil) com Base em Imagens do LANDSAT 5/TM. Ver. Bras. de Geog. Fís. 4 (1): 118-133.
- SILVA, M. C., 2000. Estuário - Critérios para uma classificação ambiental. Revista brasileira de recursos hídricos. 5, 1: 25-35.
- SILVA, P. R. P. B. , VIANNA, J. S. M. P. , GARLIPP, A. B. , SOUZA NETO, J. A. , SANTOS, E. J., 2010. Mapeamento geológico e levantamento geoquímico ambiental em sedimento de fundo na área da mineralização de Pb-Ba de Camutanga (PE). Estudos Geológicos (UFPE), 20: 35-47.
- SIQUEIRA, G. W., 2003. Estudo dos teores de metais pesados e outros elementos em sedimentos superficiais do sistema Estuarino de Santos (Baixada Santista - São Paulo) e Plataforma Continental do Amazonas (Margem Continental Norte). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 386p.
- SOUZA, E.M., 2006. Estratigrafia da Seqüência Clástica Inferior (Andares Coniaciano-Maastrichtiano Inferior da Bacia da Paraíba e suas implicações paleogeográficas. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geociências, UFPE, 358p.
- SOUZA, V. L. B. 2007. Biodisponibilidade de metais traços em sedimentos da lagoa Olho D'água: Uma ferramenta para avaliação da contaminação ambiental. Tese (Doutorado Tecnologias Energéticas e Nucleares) Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 154p.

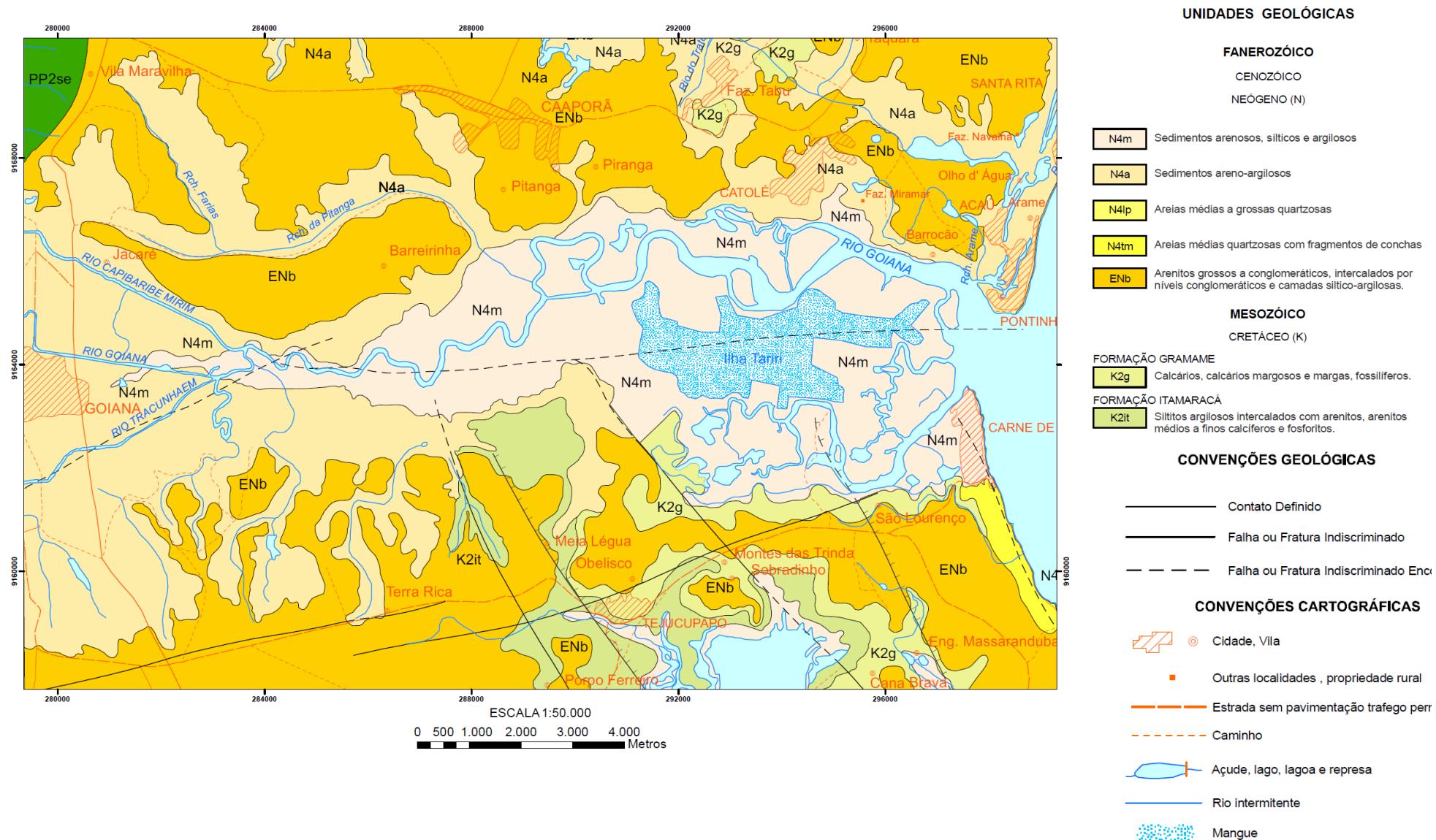
- SUTHERLAND, R.A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39 (6): 611-627.
- SUTHERLAND, R.A., 2002. Comparison between non-residual Al, Co, Ni, Mn, Pb e Zn released by a three-step seqüencial extraction procedure and dilute hydrochloric acid leach for soil and deposited sediment. *Applied geochemistry*, 14: 353-365.
- RUIZ-FERNÁNDEZ, A.C., HILLAIRE-MARCE,L C., PÁEZ-OSUNA, GHALEB, F., B., SOTO-JIMÉNEZ, M., 2003. Historical trends of metal pollution recorded in the sediments of the Culiacan River Estuary, Northwestern Mexico. *Applied Geochemistry*, 18: 577-588.
- TESSIER, A., CAMPBELL, P. G. C., BRISSON, M., 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate traces metals. *Anal. Chem.* 51:844-851.
- TESSLER, M. G., FIGUEIRA, R. C. L., MAHIQUES, M. M., FUKUMOTO, M. M., CIAPINA, E M P., 2006. Sedimentation rates and contamination levels by heavy metals at the shallow sedimentary columms from Santos estuary and bay, SP. Brazil.. *Journal of Coastal Research*, Itajaí, SC, 39: 713-717.
- VALETTE-SILVER, H.J., 1993. The use of sediment cores to reconstruct historical trends in contamination of estuarine and coastal sediments. *Estuaries*, 16(3B):577-588.
- VALSECCHI, G., GIGLIOTTI, C., FARINI, A., 1995. Microbial biomass, activity, and organic matter accumulation in soils contaminated with heavy metals. *Biology and Fertility of Soils*, 20: 253-259.
- WEN, X., ALLEN, H.E., 1999. Mobilization of heavy metals from river sediment. *The Science of the Total Environment*, 227: 101-108.

**APÊNDICE 1 –Imagem de satélite mostrando principais empreendimentos e povoados presentes no sistema estuarino Goiana-Megaó. Cedida pelo ICMBIO-RESEX Acaú-Goiana.**

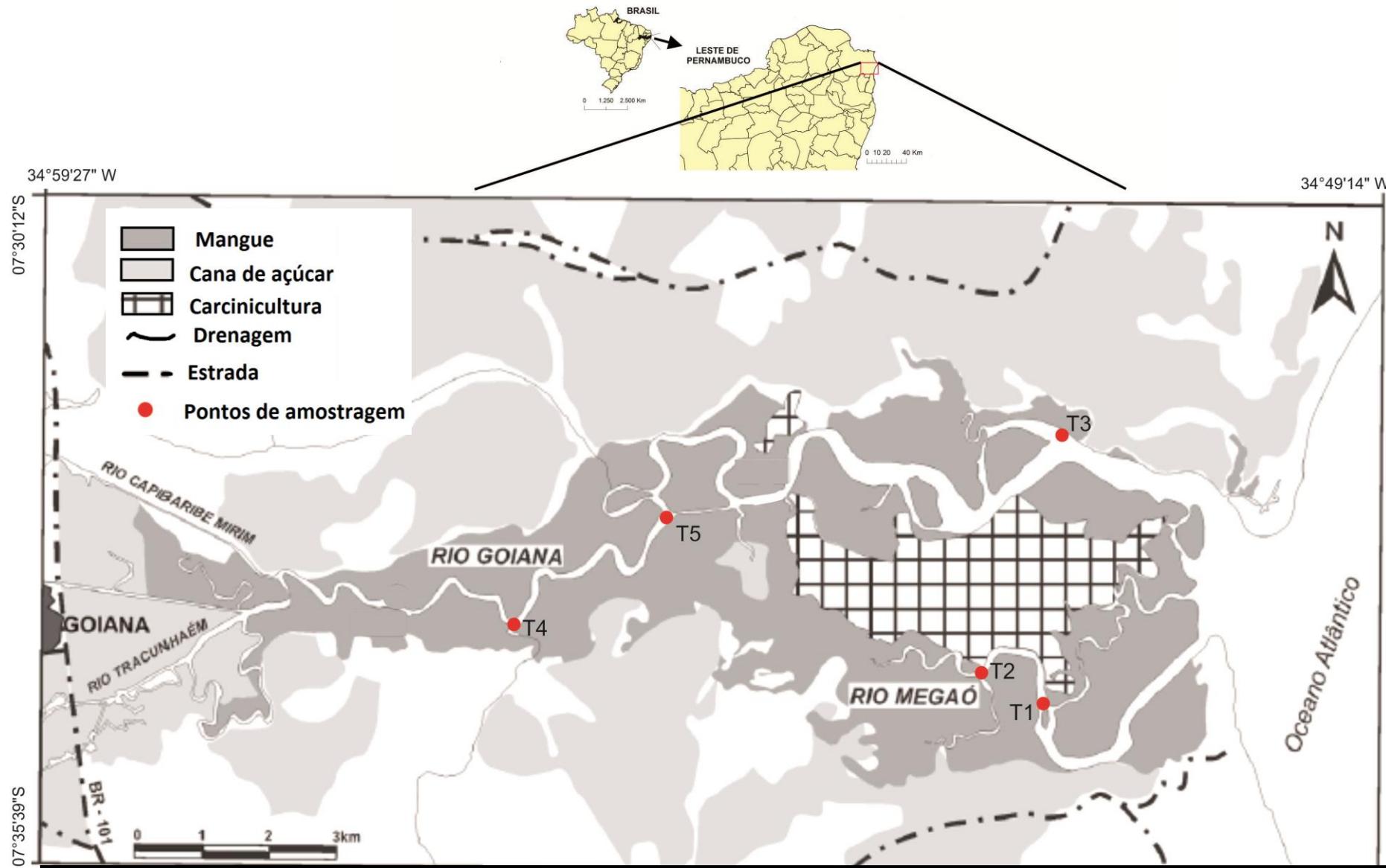


**APÊNDICE 2 – Mapa Geológico, com unidades litoestratigráficas que compõe a área do sistema estuarino Goiana-Megaó (PE), modificado de Souza (1999).**

**Legenda**



**APÊNDICE 3: Mapa com a localização dos pontos de amostragem dos testemunhos e medição dos parâmetros físico-químicos da água.**



**APÊNDICE 4: (a) Resultados analíticos das concentrações totais, destacados em amarelo os valores estabelecidos como *background* local e (b) Resultados analítico das concentrações potencialmente biodisponíveis dos sedimentos dos testemunhos do sistema estuarino Goiana-Megaó**

Elem	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	C	Fe	G	Ge	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo
Unid	ppm	%	ppm	ppm	Ppm	Ppm	%	ppm	Ppm	Ppm	ppm	ppm	Ppm0	%	Ppm0	ppm	ppm	ppm	%	ppm	Ppm	%	ppm	ppm
T-2-3	0,06	10,50	7,50	480	2,17	0,20	1,00	0,11	100,5	12,40	92,0,	6,56	31,60	5,01	27,10	0,18	2,50	0,085	1,27	50,3	49,20	0,75	365	2,53
T-2-6	0,05	10,80	7,30	450	2,25	0,30	0,90	0,08	95,1	13,70	98,0,	6,99	33,40	5,22	29,80	0,22	2,00	0,093	1,21	46,7	54,30	0,79	362	2,79
T-9	0,06	10,40	7,10	430	2,20	0,30	0,90	0,08	91,8	12,10	91,0,	6,40	30,10	5,03	27,40	0,18	2,00	0,078	1,17	44,9	53,70	0,76	410	2,63
T-2-12	0,06	10,40	7,10	420	2,09	0,30	0,60	0,08	90,9	12,60	90,00	6,78	31,40	5,04	28,70	0,23	1,90	0,088	1,14	45,5	51,60	0,73	441	2,61
T-2-15	0,06	9,79	8,70	410	1,91	0,20	0,90	0,10	93,1	11,30	76,00	6,29	28,10	4,72	25,40	0,21	2,40	0,081	1,13	46,6	51,80	0,74	417	2,92
T-2-18	0,08	9,54	9,10	440	1,97	0,20	1,30	0,10	101	11,30	86,00	6,09	27,60	4,66	25,40	0,21	2,70	0,078	1,2	50	54,50	0,77	338	3,13
T-2-21	0,04	10,2	7,50	400	2,00	0,30	0,90	0,07	92,7	11,70	78,00	6,26	28,30	4,75	26,80	0,22	2,30	0,08	1,14	46,5	54,00	0,80	321	3,08
T-2-24	0,06	10,2	8,60	420	2,24	0,30	0,50	0,10	103	12,50	84,00	6,77	30,40	5,13	28,20	0,19	2,30	0,092	1,21	51,4	52,60	0,81	379	2,76
T-2-27	0,08	8,57	8,90	510	1,79	0,20	1,60	0,11	138,5	10,20	68,00	5,14	35,90	4,57	22,50	0,3	5,60	0,067	1,32	67,6	49,70	0,74	576	3,95
T-2-30	0,06	8,43	6,40	420	1,82	0,20	0,80	0,13	96,7	10,40	80,00	5,23	26,60	4,37	22,80	0,22	3,90	0,063	1,15	50,1	58,30	0,69	569	4,47
T-2-33	0,09	9,42	6,80	420	1,85	0,20	0,70	0,11	90,7	10,90	89,00	5,76	27,10	4,69	24,70	0,23	3,10	0,069	1,18	46,6	66,20	0,75	594	4,14
T-2-36	0,06	8,25	7,50	480	1,84	0,20	1,70	0,07	113	9,70	76,00	5,02	23,70	4,12	21,50	0,26	4,80	0,058	1,25	58,7	58,40	0,69	503	4,45
T-2-39	0,07	9,86	5,30	410	2,10	0,20	0,40	0,08	81,1	12,30	93,00	6,45	30,70	4,93	26,70	0,21	2,10	0,076	1,17	43,3	72,40	0,73	487	4,89
T-2-42	<b>0,06</b>	<b>9,33</b>	<b>8,20</b>	<b>420</b>	<b>2,21</b>	<b>0,20</b>	<b>0,40</b>	<b>0,09</b>	<b>86,5</b>	<b>11,30</b>	<b>89,00</b>	<b>5,94</b>	<b>28,10</b>	<b>4,76</b>	<b>24,70</b>	<b>0,22</b>	<b>3,00</b>	<b>0,072</b>	<b>1,19</b>	<b>45,2</b>	<b>68,10</b>	<b>0,70</b>	<b>480</b>	<b>5,12</b>
T-3-3	0,1	7,47	5,70	930	2,07	0,22	0,42	0,04	200	10,20	66,00	4,59	21,20	3,66	21,30	0,3	8,10	0,06	2	89,8	36,90	0,51	459	2,11
T-3-6	0,12	7,50	5,80	870	1,95	0,20	0,36	0,06	201	9,70	62,00	4,64	19,90	3,62	21,20	0,28	7,80	0,06	1,95	98,6	38,60	0,52	318	2,28
T-3-9	0,03	7,85	6,50	860	2,23	0,22	0,39	0,05	197,5	10,50	62,00	5,02	22,50	3,81	22,30	0,33	7,70	0,074	1,89	88,3	43,90	0,56	302	2,81
T-3-12	0,07	7,56	6,20	840	2,00	0,22	0,40	0,05	195	10,30	60,00	4,91	21,90	3,85	22,30	0,3	7,90	0,069	1,91	89,5	42,30	0,57	338	2,74
T-3-15	0,11	7,25	5,00	600	1,83	0,17	0,57	0,05	207	10,10	56,00	4,66	20,50	3,83	20,60	0,33	8,10	0,063	1,92	99,6	42,00	0,59	407	2,30
T-3-18	0,08	7,22	5,10	800	1,92	0,20	1,57	0,07	259	9,60	60,00	4,69	19,90	3,73	20,90	0,35	10,00	0,064	1,97	125	43,70	0,64	464	1,98
T-3-21	0,11	7,37	6,10	790	1,94	0,20	1,61	0,07	256	9,90	64,00	4,70	20,30	3,78	20,90	0,39	10,10	0,062	1,97	124	43,90	0,66	458	2,12
T-3-24	0,11	7,63	6,60	750	1,82	0,20	1,98	0,07	256	10,00	69,00	4,92	20,20	3,90	21,20	0,38	9,60	0,065	1,97	124	47,80	0,70	442	2,44
T-3-27	0,08	6,91	6,90	700	1,79	0,19	2,71	0,09	268	8,90	64,00	4,49	17,10	3,55	19,50	0,39	10,00	0,056	1,83	130	48,20	0,68	380	2,56
T-3-30	0,13	6,28	6,80	710	1,71	0,19	3,11	0,06	301	7,60	60,00	3,90	15,60	3,09	18,40	0,45	11,30	0,054	1,85	143	43,20	0,65	376	2,68
T-3-33	0,06	5,41	5,60	770	1,38	0,16	3,11	0,06	410	6,20	47,00	3,08	11,00	2,52	15,85	0,51	14,60	0,041	1,99	188,5	33,50	0,55	382	2,21
T-3-36	0,14	5,27	5,40	720	1,22	0,15	3,72	0,07	327	5,80	49,00	2,87	10,10	2,42	14,80	0,45	12,70	0,044	1,87	154	33,00	0,57	319	2,44
T-3-39	0,12	6,54	7,80	680	1,59	0,16	2,57	0,09	249	7,50	61,00	3,92	14,60	3,28	17,60	0,33	9,30	0,051	1,82	121	45,80	0,66	361	4,25
T4-3	0,05	8,17	3,00	1440	2,04	0,20	0,70	0,10	190	14,40	71,00	4,43	27,30	3,69	22,20	0,31	11,00	0,072	1,99	92,9	18,90	0,48	655	1,22
T4-6	0,06	8,08	0,20	1470	2,45	0,20	0,70	0,05	163,5	14,50	71,00	4,51	25,90	3,60	22,20	0,3	9,80	0,069	2,01	79,1	19,10	0,46	700	1,13
T4-9	0,06	9,18	3,10	1300	2,51	0,30	0,50	0,09	139,5	17,80	85,00	5,81	33,10	4,62	26,20	0,26	7,10	0,082	1,81	68,8	25,10	0,55	907	1,53
T4-12	0,04	8,74	3,80	1110	2,17	0,20	0,50	0,08	176,5	14,50	78,00	5,15	27,00	4,37	24,80	0,28	8,10	0,077	1,73	88,4	27,00	0,52	657	1,45
T4-15	0,06	8,37	1,80	1240	2,01	0,20	0,60	0,09	176	15,40	74,00	4,69	26,40	4,05	23,1	0,33	7,60	0,072	1,83	87,4	22,8	0,50	566	1,48
T4-18	0,07	9,31	1,30	1160	2,38	0,20	0,40	0,09	131,5	16,90	86,00	5,81	30,80	4,72	25,6	0,31	6,10	0,073	1,76	66,2	26,3	0,57	860	1,66
T4-21	0,06	9,92	2,50	1120	2,40	0,30	0,40	0,09	116,5	19,00	93,00	6,59	36,10	5,16	27,8	0,3	4,50	0,09	1,7	58,7	26,8	0,62	1000	1,59
T4-24	0,07	10,60	3,10	870	2,52	0,30	0,30	0,08	104	19,30	102,00	7,69	39,6	5,99	31,1	0,28	3,10	0,095	1,5	49,7	31,2	0,63	1130	1,62
T4-27	0,09	10,30	3,60	930	2,37	0,30	0,40	0,11	128	18,40	98,00	6,67	36,10	5,57	28,7	0,28	4,50	0,094	1,55	65,3	31,8	0,61	941	1,81
T4-30	0,08	9,40	3,90	1020	2,09	0,20	0,40	0,08	202	17,70	88,00	5,48	29,70	5,18	26,2	0,37	8,10	0,081	1,54	99,9	27,8	0,55	846	1,64
T4-33	0,05	10,10	2,90	1060	2,19	0,20	0,40	0,07	144,5	19,1	93,00	6,30	33,90	5,48	28,2	0,34	5,10	0,081	1,53	71,8	27	0,62	964	1,06
T4-36	0,08	10,60	3,90	990	2,22	0,20	0,40	0,11	113	20,1	101,00	6,48	34,90	5,81	28,6	0,25	3,90	0,089	1,45	57,4	27,5	0,64	1360	1,65
T4-39	0,09	8,86	3,00	1130	1,88	0,20	0,50	0,08	152	15,3	78,00	4,96	26,70	4,69	24,3	0,33	6,00	0,068	1,62	76,6	22,7	0,51	1020	1,26

## APÊNDICE 4 (a) Continuação

Elem	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Te	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr
Unid	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	Ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm
T-2-3	0,62	22,80	35,40	850	34,70	96,20	0,004	1,67	0,18	17,10	2,00	3,40	207	1,5	0,05	17,10	0,584	0,75	3,90	101	1,10	23,6	99,00	81,60
T-2-6	0,75	25,10	40,10	790	35,50	99,20	0,003	1,44	0,15	18,30	2,00	3,60	205	1,46	0,09	15,10	0,582	0,72	3,60	108	1,20	23,6	101	65,40
T-9	0,87	22,90	36,70	800	34,40	91,30	0,006	1,90	0,18	16,60	2,00	3,50	192	1,38	<0,05	15,20	0,563	0,72	3,60	98	1,10	20,8	95,00	64,00
T-2-12	0,87	23,70	37,50	860	34,80	95,70	0,002	1,73	0,16	17,50	2,00	3,60	155	1,41	0,05	15,20	0,56	0,74	3,60	100	1,00	21,30	96,00	61,60
T-2-15	0,91	20,70	33,80	750	32,60	89,30	0,005	2,39	0,17	15,80	2,00	3,30	199,5	1,3	<0,05	15,70	0,528	0,71	3,90	91	1,00	20,30	88,00	76,40
T-2-18	0,9	22,40	34,10	690	32,60	91,60	0,002	2,43	0,20	15,40	2,00	3,30	251	1,38	<0,05	17,40	0,536	0,71	4,30	92	1,00	22,30	87,00	87,70
T-2-21	0,95	22,50	34,90	690	34,40	90,30	0,004	2,43	0,19	16,00	2,00	3,40	178,5	1,35	<0,05	15,70	0,554	0,70	4,20	95	1,00	21,10	92,00	72,00
T-2-24	1,01	24,00	37,50	750	34,30	99,30	0,004	2,24	0,16	18,30	2,00	3,30	156	1,42	0,07	17,20	0,58	0,70	4,00	101	1,10	24,50	95,00	76,10
T-2-27	1,04	21,80	29,00	610	320	85,40	0,003	3,37	0,2	14,00	2,00	2,90	293	1,39	0,06	25,70	0,549	0,65	5,90	79	0,90	26,50	82,00	184,50
T-2-30	1,1	19,50	30,20	540	29,70	80,40	0,003	3,18	0,23	14,10	2,00	3,00	202	1,27	0,07	17,20	0,499	0,65	4,50	84	0,90	21,20	79,00	129
T-2-33	1,02	21,50	32,80	550	30,7,00	84,40	0,005	3,36	0,22	15,50	3,00	3,02	166,5	1,47	0,05	16,20	0,545	0,70	4,20	93	0,90	20,30	87,00	99,60
T-2-36	1	19,70	28,60	470	29,30	79,20	0,005	2,96	0,24	13,60	2,00	2,80	303	1,69	<0,05	21,30	0,509	0,66	5,20	75	0,90	22,60	75,00	156,5
T-2-39	0,97	20,20	37,10	440	29,70	91,40	0,004	3,46	0,23	16,80	2,00	3,20	118	1,33	0,08	14,00	0,54	0,74	4,30	102	10,0	20,50	94,00	68,80
T-2-42	1,07	19,70	33,70	450	29,60	85,30	0,007	3,4	0,25	15,50	2,00	3,00	119	1,3	<0,05	15,20	0,528	0,65	4,90	95	0,90	21,20	88,00	94,60
T-3-3	0,86	23,20	24,40	570	34,10	93,40	0,004	0,95	0,16	14,10	3,00	2,70	212	1,66	0,05	36,80	0,576	0,66	6,80	75	0,90	280	66,00	277
T-3-6	0,95	23,60	24,50	510	32,60	92,90	0,003	1,54	0,16	14,00	3,00	2,80	193,5	1,76	0,06	35,90	0,574	0,66	6,70	76	0,90	28,20	64,00	264
T-3-9	1,02	23,70	26,60	490	32,40	95,60	0,002	1,89	0,17	15,20	3,00	2,80	193,5	1,64	0,07	34,30	0,574	0,66	7,00	79	0,90	29,00	67,00	267
T-3-12	1,05	22,90	26,30	470	31,40	94,30	0,003	2,38	0,16	14,50	3,00	2,80	192,5	1,63	0,07	33,60	0,569	0,66	6,60	77	0,80	28,20	65,00	268
T-3-15	1,07	25,20	25,20	430	31,10	91,30	0,004	2,53	0,14	14,00	2,00	2,60	214	1,89	0,06	36,30	0,57	0,60	6,50	72	0,80	28,70	65,00	274
T-3-18	1,01	26,20	24,10	440	32,00	94,80	0,003	2,36	0,17	13,70	4,00	2,70	336	1,93	0,05	46,40	0,619	0,63	7,90	68	0,80	33,20	65,00	334
T-3-21	1,07	24,10	24,80	450	32,30	94,30	0,003	2,46	0,16	14,10	3,00	2,70	352	1,76	0,06	43,90	0,626	0,66	7,70	70	0,80	32,60	69,00	331
T-3-24	1,05	24,80	25,60	460	32,50	96,80	0,002	2,55	0,17	14,10	3,00	2,80	403	1,97	0,05	44,20	0,618	0,66	8,20	71	0,90	34,10	69,00	336
T-3-27	0,96	23,40	23,00	450	31,10	88,30	0,004	2,27	0,17	13,20	4,00	2,50	487	1,66	<0,05	48,40	0,584	0,60	8,20	62	0,80	33,40	63,00	327
T-3-30	0,85	25,20	20,30	440	30,30	83,70	0,006	1,95	0,18	11,80	3,00	2,40	533	2,20	0,06	54,90	0,611	0,64	9,40	55	0,90	34,40	56,00	374
T-3-33	0,69	27,50	15,50	450	28,40	79,40	0,004	1,5	0,16	10,70	4,00	2,10	529	2,57	<0,05	74,00	0,68	0,53	11,10	47	0,80	41,10	47,00	474
T-3-36	0,81	22,40	15,00	410	26,10	73,60	0,004	1,53	0,15	9,80	3,00	1,80	603	1,88	0,05	60,50	0,592	0,50	10,00	44	0,80	35,40	43,00	402
T-3-39	0,95	22,30	20,70	420	27,00	80,70	0,005	2,15	0,19	11,60	3,00	2,20	455	2,33	<0,05	43,80	0,57	0,53	8,40	56	0,80	31,00	57,00	315
T4-3	0,91	23,80	27,20	650	35,30	91,30	<0,002	0,34	0,06	15,20	2,00	2,90	296	1,77	<0,05	32,70	0,584	0,61	6,90	87	0,80	48,40	75,00	321
T4-6	0,95	25,30	27,60	610	36,20	93,30	<0,002	0,25	0,07	14,90	2,00	2,90	299	1,77	<0,05	27,90	0,566	0,66	6,20	85	0,80	30,00	73,00	298
T4-9	0,74	26,60	33,90	810	38,70	102,00	<0,002	0,38	0,12	17,40	2,00	3,40	236	1,76	<0,05	22,40	0,612	0,74	5,50	100	1,10	29,60	90,00	222
T4-12	0,71	24,30	30,50	830	35,10	93,30	<0,002	0,71	0,10	16,10	3,00	3,00	219	1,67	<0,05	30,90	0,589	0,68	6,30	91	0,90	29,80	81,00	250
T4-15	0,84	22,80	28,80	650	36,00	88,70	<0,002	0,86	0,10	15,30	2,00	2,90	249	1,65	0,06	30,00	0,567	0,66	6,30	89	0,9	29,70	80,00	242
T4-18	0,72	24,90	34,50	810	36,80	102,00	<0,002	0,56	0,12	17,40	2,00	3,20	211	1,72	<0,05	21,10	0,617	0,75	5,20	103	1,00	28,90	91,00	197
T4-21	0,66	28,40	37,10	890	38,20	109,50	<0,002	0,38	0,17	19,10	2,00	3,50	184,5	1,9	0,07	18,30	0,661	0,81	4,40	111	1,10	28,8	102	146
T4-24	0,51	31,30	42,20	1010	40,60	108,00	<0,002	0,40	0,12	21,20	3,00	3,80	133,5	2,18	0,07	18,00	0,709	0,90	4,40	126	1,40	29,40	108	99,70
T4-27	0,58	25,70	39,00	1120	36,30	102,00	<0,002	0,7	0,10	19,50	3,00	3,50	158,5	1,68	0,09	20,40	0,659	0,77	4,90	114	1,10	29,20	104	149
T4-30	0,66	26,20	34,30	980	34,10	91,40	0,003	0,78	0,15	17,70	3,00	3,10	180	1,72	0,05	34,70	0,64	0,68	7,00	98	0,90	33,00	94,00	274
T4-33	0,67	24,70	38,90	1020	34,50	99,30	0,002	0,59	0,11	19,10	3,00	3,40	172,5	1,63	0,05	22,80	0,636	0,72	5,10	114	1,00	28,70	103	173,5
T4-36	0,57	22,70	42,30	1080	33,80	98,70	<0,002	0,48	0,12	19,60	3,00	3,30	147,5	1,51	0,07	17,90	0,66	0,75	4,30	119	1,10	27,30	109	128
T4-39	0,75	21,50	31,50	1000	31,10	89,60	<0,002	0,52	0,10	15,80	2,00	3,30	209	1,46	0,05	24,70	0,565	0,6	5,20	93	0,80	27,50	84,00	187

**APÊNDICE 4: (b) Resultados analíticos das concentrações potencialmente biodisponíveis dos sedimentos dos testemunhos do sistema estuarino Goiana-Megaó**

Elemento	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn
Unidade	ppm	%	%	ppm	ppm
<b>T-2-3</b>	9,7995157	0,741477	0,2532063	133,656553	16,8433782
<b>T-2-6</b>	8,7421177	0,6473408	0,2908603	123,244026	33,592±3,7
<b>T-9</b>	10,232±0,3	0,773±0,02	0,2707654	182,436±9,1	20,4502819
<b>T-2-12</b>	10,346793	0,9154284	0,2462182	190,987686	21,5315415
<b>T-2-15</b>	8,7755764	0,7156816	0,3132455	191,227653	24,9534181
<b>T-2-18</b>	8,5182869	0,6464075	0,3610974	117,789874	21,9481505
<b>T-2-21</b>	7,901425	0,6103725	0,3519388	111,035034	17,5728877
<b>T-2-24</b>	11,313613	0,9248121	0,3730825	146,032405	24,3073484
<b>T-2-27</b>	10,583126	0,7588654	0,3297429	242,44166	18,5779393
<b>T-2-30</b>	9,7499275	0,9347807	0,3548375	239,833101	28,6874612
<b>T-2-33</b>	10,814312	0,8208343	0,3190067	276,805075	19,9437747
<b>T-2-36</b>	10,310443	0,7214173	0,2876159	237,003117	19,7771654
<b>T-2-39</b>	11,877±1	0,57±0,1	0,268±0,01	229,005±9,1	21,630444
<b>T-3-3</b>	6,9075293	0,8644985	0,1829658	164,466375	19,6944907
<b>T-3-6</b>	8,132343	0,5586786	0,2214084	71,3690868	13,9982954
<b>T-3-9</b>	9,0077067	0,5777651	0,2534447	59,4046708	12,9002678
<b>T-3-12</b>	7,4999468	0,4196549	0,2559293	83,1280654	12,5291509
<b>T-3-15</b>	8,6781429	0,6033365	0,1741767	109,881295	15,1498718
<b>T-3-18</b>	5,0657558	0,3024806	0,2832028	107,405907	15,3101698
<b>T-3-21</b>	4,3773987	0,3729107	0,2879023	110,612±5,6	13,882±0,07
<b>T-3-24</b>	5,3685884	0,4749411	0,3089088	99,5112187	17,3500737
<b>T-3-27</b>	3,121059	0,3087817	0,3337618	73,9198173	12,6126622
<b>T-3-30</b>	2,2892802	0,3232075	0,287458	82,8629667	17,5930438
<b>T-3-33</b>	1,5548303	0,2620022	0,3075002	57,4250647	8,49085407
<b>T-3-36</b>	2,3296154	0,2862519	0,3337828	62,1131864	8,81099141
<b>T-3-39</b>	3,286173	0,3508592	0,3163751	87,9980613	14,9022739
<b>T4-3</b>	12,767936	0,4803976	0,0883566	300,344959	7,70734955
<b>T4-6</b>	12,121915	0,8330768	0,0743845	590,368425	13,3860365
<b>T4-9</b>	11,226015	0,8847628	0,108322	347,571802	14,9790108
<b>T4-12</b>	11,097029	0,5221262	0,1301897	390,94791	18,1664643
<b>T4-15</b>	11,470277	0,7179107	0,1322125	268,594429	17,1688855
<b>T4-18</b>	12,084057	0,9567676	0,1215015	547,083664	15,1491359
<b>T4-21</b>	10,887818	0,8777984	0,1142492	594,670066	15,6814608
<b>T4-24</b>	12,63843	1,1733325	0,1097464	763,167916	17,5367658
<b>T4-27</b>	11,879148	1,1271888	0,1213316	590,781637	19,357169
<b>T4-30</b>	9,99±0,2	1,264±0,03	0,1195638	448,071±9,2	28,155±6,23
<b>T4-33</b>	11,360308	1,161386	0,1205124	607,315913	18,0916922
<b>T4-36</b>	11,889662	1,3799659	0,1258078	980,210355	21,1119049
<b>T4-39</b>	8,215373	0,9788008	0,0961549	647,950936	14,7938367

**APÊNDICE 5:** Matrizes de correlação (a) dos testemunhos T-1 e T-5 (MO e CT), (b) do testemunho T-2 (Concentrações totais dos elementos, MO e CT, Profundidade), (c) do testemunho T-3 (Concentrações totais dos elementos, MO e CT, Profundidade) e (d) do testemunho T-4 (Concentrações totais dos elementos, MO e CT, Profundidade)

**APÊNDICE 5:** (a) Matriz de correlação dos testemunhos T-1 e T-5 (MO e CT)

<b>Matriz de correlação T-1</b>	
	MO (%) CaCO3 (%)
MO (%)	1
CaCO3 (%)	-0,42

<b>Matriz de correlação T-5</b>	
	MO (%) CaCO3 (%)
MO (%)	1
CaCO3 (%)	0,90

**APÊNDICE 5: (b) Matriz de correlação do testemunho T-2 (Concentrações totais dos elementos, MO e CT)**

## APÊNDICE 5: (c) Matriz de correlação do testemunho T-3 (Concentrações totais dos elementos, MO e CT)

	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Th	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	MO	CT			
Ag	1,00																																															
Al	-0,30	1,00																																														
As	0,03	0,07	1,00																																													
Ba	-0,38	0,42	-0,14	1,00																																												
Be	-0,45	0,94	0,03	0,55	1,00																																											
Bi	-0,44	0,83	0,04	0,73	0,91	1,00																																										
Ca	0,35	-0,85	0,25	-0,53	-0,86	-0,73	1,00																																									
Cd	0,26	-0,30	0,53	-0,50	-0,44	-0,47	0,63	1,00																																								
Ce	0,08	-0,88	-0,06	-0,33	-0,82	-0,67	0,86	0,33	1,00																																							
Co	-0,33	0,98	-0,08	0,40	0,94	0,83	-0,88	-0,39	-0,85	1,00																																						
Cr	0,00	0,81	0,43	0,31	0,73	0,71	-0,46	0,06	-0,67	0,74	1,00																																					
Cs	-0,33	0,99	0,07	0,33	0,93	0,82	-0,80	-0,24	-0,83	0,98	0,80	1,00																																				
Cu	-0,34	0,98	-0,06	0,43	0,96	0,86	-0,89	-0,44	-0,87	0,99	0,73	0,97	1,00																																			
Fe	-0,25	0,97	0,06	0,25	0,89	0,75	-0,79	-0,20	-0,84	0,97	0,80	0,99	0,96	1,00																																		
Ga	-0,37	0,98	-0,02	0,47	0,96	0,89	-0,88	-0,40	-0,84	0,99	0,75	0,98	0,99	0,96	1,00																																	
Ge	0,08	-0,81	-0,03	-0,39	-0,74	-0,59	0,85	0,27	0,95	-0,77	-0,59	-0,75	-0,78	-0,77	-0,76	1,00																																
Hf	0,13	-0,89	-0,11	-0,31	-0,83	-0,67	0,86	0,31	0,99	-0,86	-0,68	-0,85	-0,87	-0,86	-0,85	0,95	1,00																															
In	-0,41	0,94	0,00	0,36	0,92	0,83	-0,81	-0,37	-0,83	0,94	0,67	0,94	0,95	0,92	0,95	-0,71	-0,83	1,00																														
K	-0,18	0,26	-0,62	0,53	0,26	0,33	-0,40	-0,52	0,00	0,33	0,07	0,22	0,31	0,22	0,31	-0,07	0,01	0,17	1,00																													
La	0,15	-0,87	-0,04	-0,39	-0,84	-0,70	0,88	0,41	0,99	-0,85	-0,63	-0,82	-0,87	-0,82	-0,84	0,94	0,98	-0,83	-0,03	1,00																												
Li	-0,11	0,57	-0,59	-0,26	0,45	0,34	-0,13	0,45	-0,41	0,50	0,72	0,65	0,49	0,67	0,51	-0,30	-0,45	0,55	-0,35	-0,35	1,00																											
Mg	0,21	0,04	0,51	-0,56	-0,12	-0,14	0,44	0,73	0,15	-0,02	0,37	0,14	-0,05	0,18	0,03	0,25	0,13	0,13	0,04	-0,36	0,23	0,78	1,00																									
Mn	0,12	0,22	-0,23	-0,01	0,17	0,17	-0,04	0,02	0,02	0,29	0,37	0,26	0,25	0,33	0,22	0,03	0,04	0,10	0,56	0,05	0,23	0,37	1,00																									
Mo	0,09	-0,10	0,80	-0,32	-0,16	-0,27	0,20	0,45	-0,10	-0,24	0,07	-0,12	-0,21	-0,09	-0,21	-0,15	-0,14	-0,11	-0,72	-0,08	0,35	0,27	-0,42	1,00																								
Na	-0,09	0,81	0,09	-0,06	0,66	0,48	-0,59	0,03	-0,75	0,80	0,63	0,85	0,79	0,88	0,77	-0,64	-0,74	0,83	-0,02	-0,70	0,72	0,38	0,19	0,05	1,00																							
Nb	-0,28	-0,18	-0,42	-0,13	-0,12	-0,12	0,14	-0,17	0,51	-0,11	-0,31	-0,11	-0,11	-0,13	-0,09	0,49	0,47	-0,14	0,50	0,50	-0,12	0,07	0,40	-0,49	-0,23	1,00																						
Ni	-0,30	0,99	0,06	0,32	0,93	0,81	-0,84	-0,29	-0,87	0,98	0,78	0,99	0,99	0,98	0,98	-0,79	-0,89	0,95	0,20	-0,86	0,62	0,09	0,23	-0,10	0,86	-0,16	1,00																					
P	-0,26	0,54	-0,11	0,83	0,64	0,72	-0,66	-0,61	-0,49	0,54	0,47	0,45	0,55	0,39	0,56	-0,52	-0,50	0,38	0,50	-0,55	-0,17	-0,58	0,12	-0,31	-0,02	-0,15	0,45	1,00																				
Pb	-0,31	0,86	-0,17	0,57	0,89	0,88	-0,76	-0,48	-0,64	0,89	0,72	0,85	0,88	0,81	0,89	-0,56	-0,64	0,77	0,54	-0,65	0,32	-0,11	0,42	-0,50	0,51	0,11	0,83	0,73	1,00																			
Rb	-0,38	0,96	-0,10	0,46	0,91	0,85	-0,81	-0,35	-0,72	0,97	0,75	0,96	0,96	0,94	0,97	-0,66	-0,74	0,91	0,46	-0,72	0,51	0,05	0,37	-0,33	0,75	0,06	0,95	0,53	0,92	1,00																		
S	-0,04	0,34	0,19	-0,53	0,16	0,03	-0,03	0,38	0,18	0,33	0,27	0,45	0,31	0,50	0,32	-0,08	-0,20	0,42	-0,21	-0,12	0,76	0,75	0,23	0,15	0,75	0,12	0,43	-0,57	0,07	0,36	1,00																	
St	-0,05	0,03	0,83	0,02	0,06	0,10	0,29	0,51	0,06	-0,12	0,39	0,04	-0,08	0,02	-0,03	0,02	0,01	-0,02	0,43	0,08	0,54	0,50	-0,02	0,65	-0,03	-0,11	0,00	-0,08	-0,11	-0,05	0,11	1,00																
Sc	-0,42	0,98	-0,04	0,44	0,98	0,85	-0,88	-0,39	-0,82	0,99	0,72	0,98	0,99	0,95	0,99	-0,74	-0,84	0,95	0,32	-0,83	0,51	-0,04	0,22	-0,22	0,78	-0,08	0,98	0,55	0,89	0,97	0,32	-0,08	1,00															
Se	-0,40	0,29	0,07	0,21	-0,19	-0,01	0,44	0,42	0,53	-0,31	-0,12	-0,23	-0,32	-0,29	-0,24	0,40	0,50	-0,31	0,08	0,52	0,00	0,17	0,13	-0,16	-0,40	0,35	-0,32	-0,04	-0,09	-0,14	-0,12	0,37	-0,25	1,00														
Sn	-0,35	0,96	-0,02	0,47	0,93	0,88	-0,83	-0,37	-0,76	0,96	0,76	0,96	0,96	0,93	0,98	-0,69	-0,78	0,90	0,39	-0,75	0,51	0,01	0,28	-0,27	0,72	0,03	0,95	0,57	0,93	0,98	0,32	0,00	0,97	-0,17	1,00													
Sr	0,36	-0,84	0,25	-0,51	-0,85	-0,71	1,00	0,62	0,86	-0,87	-0,43	-0,79	-0,88	-0,78	-0,87	0,86	0,86	-0,80	-0,38	0,88	-0,13	0,45	-0,02	0,18	-0,59	0,14	-0,83	-0,63	-0,74	-0,79	-0,04	0,28	-0,87	0,41	-0,82	1,00												
Ta	0,16	-0,67	0,16	-0,43	-0,67	-0,68	0,62	0,28	0,75	-0,71	-0,51	-0,66	-0,69	-0,63	-0,68	0,63	0,69	-0,69	-0,04	0,75	-0,21	0,18	0,05	0,30	-0,58	0,53	-0,67	-0,47	-0,61	-0,61	-0,07	0,33	-0,69	0,23	-0,60	0,61	1,00											
Th	0,11	-0,90	-0,08	-0,31	-0,83	-0,68	0,86	0,31	1,00	-0,88	-0,68	-0,86	-0,88	-0,87	-0,86	0,94	0,99	-0,85	-0,01	0,99	-0,45	0,11	0,00	-0,11	-0,79	0,49	-0,90	-0,47	-0,64	-0,24	0,04	-0,85	0,53	-0,78	0,86	0,73	1,00											
Ti	-0,13	-0,47	-0,20	-0,04	-0,42	-0,28	0,51	0,11	0,82	-0,43	-0,37	-0,43	-0,44	-0,44	-0,41	0,78	0,80	-0,46	0,81	-0,25	0,18	0,37	-0,39	-0,47	0,78	-0,48	-0,24	-0,16	-0,23	-0,02	0,02	-0,39	0,55	-0,28	0,52	0,63	0,79	1,00										
Tl	-0,23	0,87	0,00	0,55	0,89	0,92	-0,72	-0,45	-0,67	0,87	0,76	0,87	0,89	0,82	0,91	-0,55	-0,67	0,83	0,37	-0,67	0,42	0,00	0,27	-0,35	0,59	0,01	0,86	0,61	0,93	0,91	0,19	0,04	0,88	-0,19	0,94	-0,70	-0,60	-0,68	-0,21	1,00								
U	0,14	-0,90	0,08	-0,33	-0,85	-0,68	0,31	0,38	0,98	-0,91	-0,63	-0,87	-0,91	-0,88	-0,93	0,97	-0,84	-0,13	-0,97	-0,37	0,19	-0,07	0,05	-0,77	-0,89	-0,49	-0,81	0,91	0,75	0,98	0,73	-0,70	1,00															
V	-0,35	0,97	-0,08	0,50	0,95	0,85	-0,94	-0,47	-0,89	0,98	0,69	0,95	0,98	0,93	0,98	-0,83	-0,89	0,93	0,34	-0,89	0,39	-0,17	0,14	-0,20	0,74	-0,16	0,96	0,62	0,87	0,94	0,22	-0,13	0,98	-0,34	0,95	-0,93	-0,71	-0,90	-0,49	0,86	-0,93	1,00						
W	0,03	0,40	0,17	0,48	0,45	0,52	-0,32	-0,43	-0,33	0,33	0,50	0,33	0,37	0,25	0,38	-0,25	-0,35	0,34	0,18	-0,35	0,05	-0,02	0,05	0,32	0,64	0,53	0,37	-0,38	0,22	0,35	-0,23	0,44	-0,30	0,19	-0,31	-0,17	0,58	-0,24	0,									

APÊNDICE 5: (d) Matriz de correlação do testemunho T-4 (Concentrações totais dos elementos, MO e CT)

Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Th	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	MO	CT		
1,00																																																
Al	0,40	1,00																																														
As	0,20	0,50	1,00																																													
Ba	-0,48	-0,86	-0,61	1,00																																												
Be	-0,07	0,38	-0,25	-0,10	1,00																																											
Bi	0,17	0,74	0,22	-0,60	0,74	1,00																																										
Ca	-0,47	-0,92	-0,50	0,94	-0,25	-0,70	1,00																																									
Cd	0,34	0,38	0,54	-0,33	-0,09	0,22	-0,27	1,00																																								
Ce	-0,30	-0,76	-0,02	0,50	-0,61	-0,77	0,59	-0,27	1,00																																							
Co	0,35	0,95	0,40	-0,72	0,43	0,72	-0,85	0,35	-0,72	1,00																																						
Cr	0,42	0,99	0,48	-0,86	0,44	0,78	-0,92	0,39	-0,75	0,95	1,00																																					
Cs	0,29	0,95	0,37	-0,81	0,57	0,90	-0,88	0,29	-0,82	0,90	0,96	1,00																																				
Cu	0,26	0,92	0,36	-0,70	0,61	0,90	-0,80	0,36	-0,81	0,91	0,93	0,98	1,00																																			
Fe	0,47	0,98	0,56	-0,92	0,28	0,70	-0,96	0,34	-0,67	0,91	0,97	0,92	0,87	1,00																																		
Ga	0,33	0,97	0,49	-0,87	0,47	0,84	-0,92	0,29	-0,75	0,91	0,98	0,98	0,95	0,97	1,00																																	
Ge	0,04	-0,30	-0,14	0,08	-0,57	-0,51	0,06	-0,39	0,61	-0,25	-0,32	-0,37	-0,42	-0,19	-0,32	1,00																																
Hf	-0,45	-0,91	-0,32	0,83	-0,33	-0,73	0,87	-0,32	0,86	-0,84	-0,90	-0,90	-0,84	-0,90	-0,90	0,31	1,00																															
In	0,26	0,88	0,52	-0,74	0,54	-0,86	-0,76	0,44	-0,66	0,84	0,90	0,91	0,93	0,84	0,91	-0,45	-0,75	1,00																														
K	-0,52	-0,87	-0,65	0,95	0,01	-0,47	0,92	-0,29	0,47	-0,78	-0,85	-0,75	-0,65	-0,94	-0,84	0,02	0,82	-0,67	1,00																													
La	-0,28	-0,74	0,01	0,47	-0,65	-0,78	0,57	-0,23	1,00	-0,71	-0,74	-0,82	-0,82	-0,65	-0,74	0,61	0,84	-0,65	0,44	1,00																												
Li	0,35	0,86	0,56	-0,93	0,37	0,73	-0,91	0,35	-0,55	0,75	0,88	0,77	0,79	0,90	0,90	-0,23	-0,79	0,84	-0,83	-0,52	1,00																											
Mg	0,29	0,98	0,45	-0,81	0,40	0,74	-0,89	0,41	-0,77	0,95	0,97	0,94	0,92	0,94	0,95	-0,30	-0,91	0,86	-0,82	-0,75	0,84	1,00																										
Mn	0,54	0,85	0,41	-0,65	0,25	0,56	-0,73	0,32	-0,77	0,82	0,83	0,75	0,73	0,83	0,78	-0,39	-0,81	0,64	-0,77	-0,76	0,80	1,00																										
Mo	0,34	0,81	0,45	-0,79	0,33	0,61	-0,84	0,52	-0,49	0,79	0,83	0,77	0,74	0,80	0,79	-0,15	-0,72	0,76	-0,72	-0,45	0,90	0,83	0,47	1,00																								
Na	-0,42	-0,94	-0,63	0,96	-0,29	-0,75	0,96	-0,40	0,64	-0,84	-0,95	-0,91	-0,84	-0,97	-0,95	0,27	0,88	-0,86	0,92	0,62	-0,95	-0,91	-0,76	-0,83	1,00																							
Nb	-0,07	0,45	0,02	-0,33	0,75	0,85	-0,47	-0,14	-0,43	0,47	0,50	0,67	0,69	0,42	0,60	-0,19	-0,37	0,65	-0,18	-0,47	0,51	0,45	0,21	0,36	-0,45	1,00																						
Ni	0,40	1,00	0,46	-0,84	0,41	0,76	-0,91	0,35	-0,78	0,95	0,99	0,95	0,92	0,97	0,97	-0,33	-0,92	0,86	-0,86	-0,77	0,84	0,97	0,87	0,79	-0,93	0,45	1,00																					
P	0,60	0,87	0,68	-0,89	0,04	0,45	-0,85	0,35	-0,51	0,75	0,84	0,74	0,67	0,92	0,82	-0,11	-0,80	0,80	0,79	0,68	-0,48	0,81	0,80	0,79	0,68	-0,89	0,16	0,84	1,00																			
Pb	-0,26	0,24	-0,21	-0,05	0,83	0,78	-0,20	0,01	-0,45	0,31	0,30	0,51	0,56	0,16	0,38	-0,42	-0,24	0,50	0,13	-0,49	0,31	0,29	0,00	0,29	-0,21	0,85	0,26	-0,17	1,00																			
Rb	0,05	0,72	0,06	-0,45	0,80	0,88	-0,60	0,20	-0,84	0,73	0,75	0,86	0,89	0,63	0,78	-0,48	-0,71	-0,77	-0,36	-0,85	0,62	0,78	0,56	0,59	-0,63	0,76	0,73	0,40	0,72	1,00																		
S	0,15	0,04	0,33	-0,42	-0,48	-0,22	-0,27	0,22	0,36	-0,02	0,04	-0,07	-0,17	0,15	0,03	0,42	-0,07	-0,01	-0,35	0,41	0,37	0,04	-0,26	0,45	-0,22	-0,30	0,00	0,23	-0,32	-0,37	1,00																	
Sb	0,23	0,59	0,29	-0,56	0,24	0,52	-0,71	0,15	-0,36	0,67	0,60	0,58	0,54	0,61	0,59	-0,05	-0,57	0,54	-0,56	-0,34	0,59	0,64	0,46	0,64	-0,62	0,46	0,56	0,47	0,24	0,55	0,18	1,00																
Se	0,32	0,98	0,44	-0,83	0,50	0,84	-0,90	0,32	-0,76	0,94	0,98	0,99	0,97	0,95	0,99	-0,31	-0,88	0,92	-0,80	-0,75	0,87	0,96	0,78	0,79	-0,92	0,62	0,98	0,79	0,41	0,80	-0,03	0,59	1,00															
Se	0,13	0,65	0,66	-0,77	0,05	0,35	-0,65	0,13	-0,14	0,50	0,64	0,55	0,46	0,70	0,65	-0,09	-0,44	0,61	-0,76	-0,12	0,74	0,57	0,40	0,57	-0,72	0,21	0,63	0,71	-0,07	0,16	0,39	0,20	0,62	1,00														
Sn	0,37	0,85	0,34	-0,71	0,51	0,85	-0,71	0,79	-0,21	-0,82	0,80	0,85	0,93	0,91	0,84	-0,11	-0,33	-0,88	0,79	-0,68	-0,82	0,75	0,83	0,75	0,60	-0,82	0,64	0,85	0,73	0,45	0,82	-0,19	0,52	0,89	0,36	1,00												
Sr	-0,47	-0,94	-0,58	0,97	-0,19	-0,66	0,98	-0,33	0,62	-0,85	-0,94	-0,88	-0,80	-0,98	-0,93	0,14	0,90	-0,80	0,96	0,60	-0,92	-0,91	0,78	-0,81	0,98	-0,37	-0,93	-0,92	-0,10	-0,57	-0,27	-0,64	-0,91	-0,72	-0,79	1,00												
Ta	-0,23	0,21	-0,14	-0,12	0,65	0,72	-0,23	-0,17	-0,29	0,22	0,26	0,47	0,50	0,17	0,37	-0,16	-0,16	0,45	0,07	-0,35	0,26	0,22	0,01	0,13	-0,22	0,93	0,22	-0,12	0,87	0,61	-0,37	0,22	0,40	0,04	0,44	-0,13	1,00											
Th	-0,33	-0,76	-0,02	0,48	-0,58	-0,71	0,58	-0,29	0,99	-0,73	-0,75	-0,80	-0,80	-0,78	-0,72	-0,57	0,86	-0,63	0,48	-0,98	-0,53	-0,78	-0,78	-0,50	-0,63	-0,37	-0,78	-0,53	-0,39	-0,83	0,34	-0,38	-0,74	-0,10	-0,81	0,62	-0,21	1,00										
Ti	0,28	0,92	0,44	-0,78	0,53	0,87	-0,86	0,33	-0,67	0,89	0,94	0,95	0,95	0,89	0,95	-0,29	-0,77	0,93	-0,72	-0,67	0,84	0,90	0,70	0,76	-0,88	0,72	0,91	0,70	0,50	0,80	-0,07	0,60	0,97	0,61	0,82	-0,84	0,54	-0,64	1,00									
Tl	0,12	0,79	0,13	-0,63	0,76	0,97	-0,19	-0,10	-0,80	0,77	0,83	0,93	0,92	0,73	0,87	-0,45	-0,77	0,85	-0,50	-0,81	0,76	0,81	0,56	0,69	-0,76	0,82	0,80	0,46	0,76	0,92	-0,16	0,56	0,88	0,38	0,82	-0,70	0,68	-0,75	0,89	1,00								
U	-0,36	-0,79	-0,11	0,58	-0,45	-0,68	-0,64	-0,28	0,97	-0,74	-0,77	-0,83	-0,79	-0,73	-0,57	0,51	0,92	-0,64	0,58	0,96	-0,57	-0,81	-0,82	-0,50	-0,69	-0,32	-0,81	-0,62	-0,28	-0,77	0,27	-0,27	-0,42	-0,76	-0,19	-0,83	0,70	-0,15	0,98	-0,65	-0,72	1,00						
V	0,33	0,98	0,39	-0,81	0,47	0,81	-0,88	0,34	-0,82	0,93	0,98	0,97	0,96	0,95	0,97	-0,35	-0,92	0,88	-0,80	-0,81	0,82	0,97	0,82	0,76	-0,90	0,53	0,99	0,78	0,37	0,79	-0,06	0,52	0,99	0,58	0,88	-0,90	0,34	-0,81	0,93	0,86	-0,83	1,00						
W	0,18	0,82	0,28	-0,67	0,67	0,97	-0,77	0,29	-0,80	0,80	0,85	0,94	0,93	0,78	0,90	-0,50	-0,80	0,87	-0,57	-0,81	0,77	0,82	0,63	0,69	-0,80	0,75	0,84	0,53	0,71	0,85	-0,13</td																	

**APÊNDICE 6: Idade, data e taxa de sedimentação das camadas dos testemunhos T-1, T-2, T-3, T-4 e T-5**

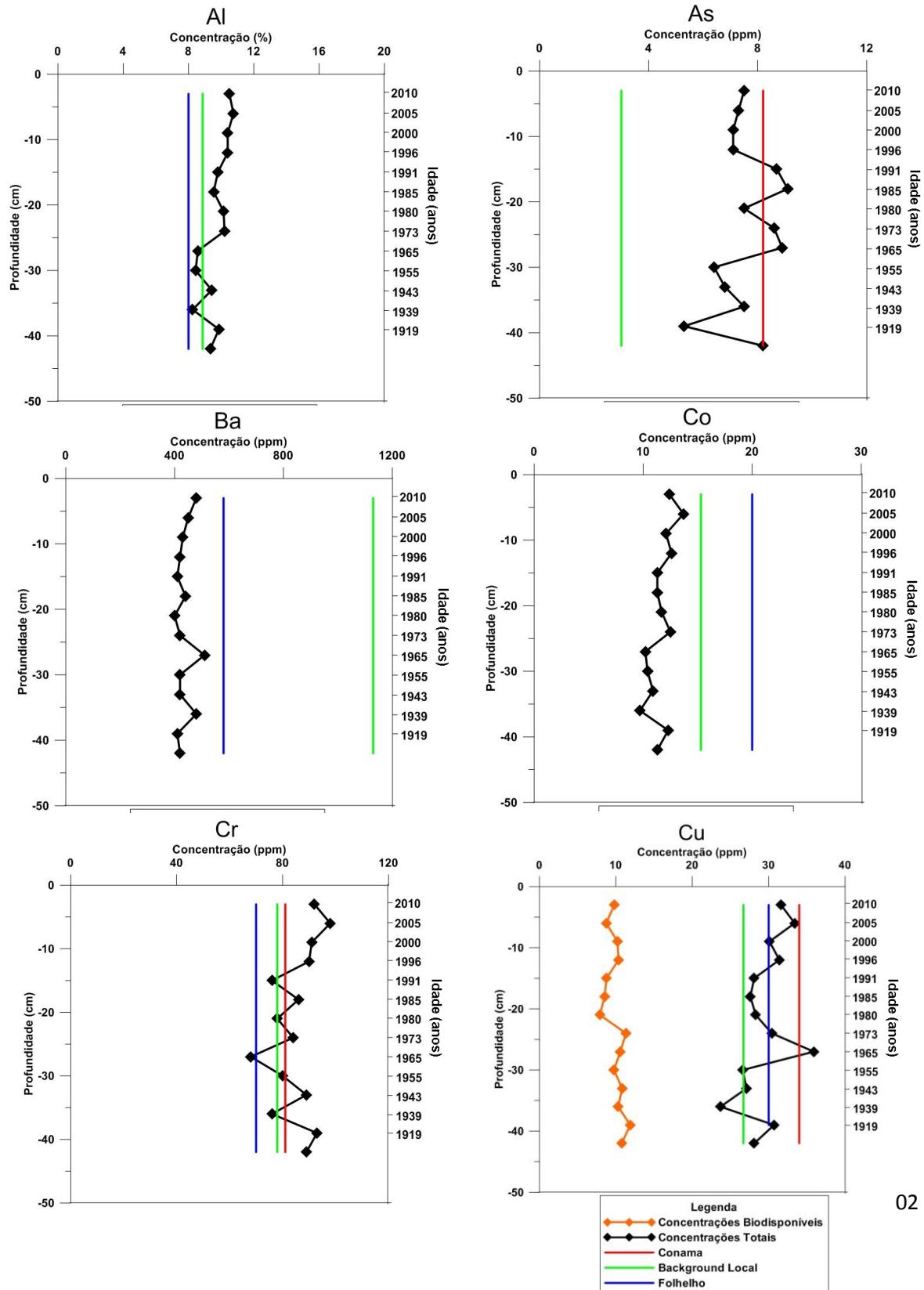
Prof.	Testemunho T-1			Testemunho T-2			Testemunho T-3			Testemunho T-4			Testemunho T-5		
	Idade	Data	Taxa (mm/ano)												
-3	1,57	2011	7,63	2,13	2010	8,30	2,59	2010	7,07	3,13	2010	6,69	2,81	2010	9,04
-6	4,34	2009	7,10	7,15	2005	7,65	8,69	2004	6,51	10,75	2002	5,06	8,51	2004	8,90
-9	7,38	2006	6,91	12,03	2000	7,72	15,82	1997	6,28	19,05	1994	5,99	14,08	1999	7,15
-12	12,13	2001	6,70	16,41	1996	7,90	22,98	1990	6,31	27,33	1986	5,03	18,89	1994	7,15
-15	18,41	1995	5,65	21,50	1991	7,64	30,03	1983	6,15	36,75	1976	4,58	23,70	1989	6,10
-18	25,92	1987	5,15	27,14	1985	6,61	38,02	1975	4,77	47,10	1966	4,35	30,13	1983	6,58
-21	34,86	1978	4,55	32,87	1980	6,48	47,47	1966	4,31	58,23	1955	4,41	38,50	1975	5,38
-24	45,65	1967	3,62	39,01	1973	5,61	58,53	1954	3,54	69,02	1944	3,90	49,91	1963	4,19
-27	59,55	1953	2,91	47,10	1965	4,35	72,30	1941	2,87	80,65	1932	3,48	66,47	1947	2,45
-30	78,71	1934	1,76	57,39	1955	4,16	91,08	1922	1,86	98,03	1915	1,97	88,49	1925	1,55
-33			69,44	1943	3,00										
-36			73,60	1939	2,25										
-39			93,28	1919	1,83										

**APÊNDICE 7: Porcentagem extraída dos elementos pela digestão com HCl em relação à digestão total, segundo Sutherland, 2002**

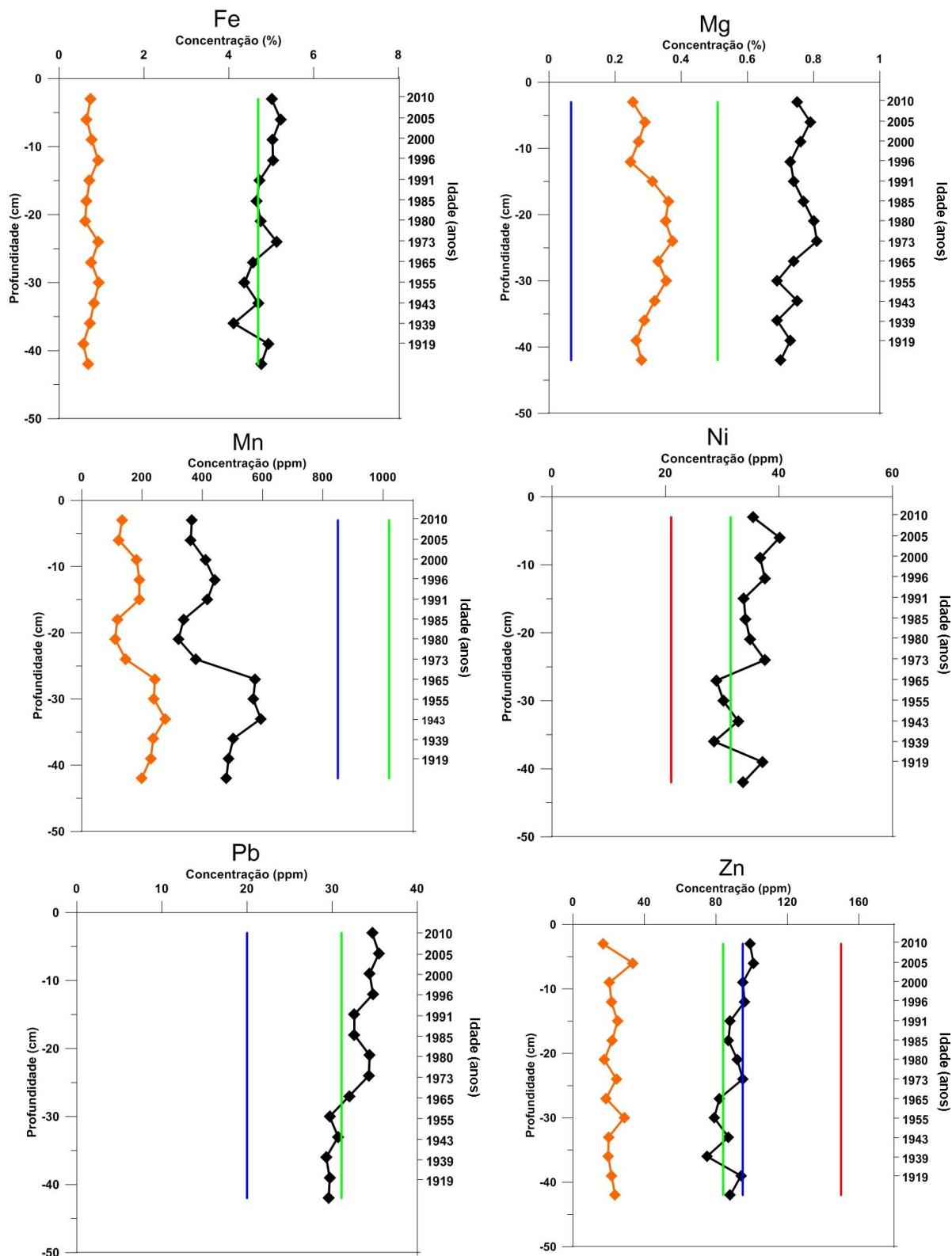
	Mn			Fe			Cu			Mg			Zn		
	Biodisp	Total	% B/T	Biodisp	Total	% B/T	Biodisp	Total	% B/T	Biodisp	Total	% B/T	Biodisp	Total	% B/T
T-2	133,66	365,00	<b>36,62</b>	0,74	5,01	<b>14,80</b>	9,80	31,60	<b>31,01</b>	0,25	0,75	<b>33,76</b>	16,84	99,00	<b>17,01</b>
	123,24	362,00	<b>34,05</b>	0,65	5,22	<b>12,40</b>	8,74	33,40	<b>26,17</b>	0,29	0,79	<b>36,82</b>	33,59	101,00	<b>33,26</b>
	182,44	410,00	<b>44,50</b>	0,77	5,03	<b>15,35</b>	10,21	30,10	<b>33,92</b>	0,27	0,76	<b>35,63</b>	20,45	95,00	<b>21,53</b>
	190,99	441,00	<b>43,31</b>	0,92	5,04	<b>18,16</b>	10,35	31,40	<b>32,95</b>	0,25	0,73	<b>33,73</b>	21,53	96,00	<b>22,43</b>
	191,23	417,00	<b>45,86</b>	0,72	4,72	<b>15,16</b>	8,78	28,10	<b>31,23</b>	0,31	0,74	<b>42,33</b>	24,95	88,00	<b>28,36</b>
	117,79	338,00	<b>34,85</b>	0,65	4,66	<b>13,87</b>	8,52	27,60	<b>30,86</b>	0,36	0,77	<b>46,90</b>	21,95	87,00	<b>25,23</b>
	111,04	321,00	<b>34,59</b>	0,61	4,75	<b>12,85</b>	7,90	28,30	<b>27,92</b>	0,35	0,80	<b>43,99</b>	17,57	92,00	<b>19,10</b>
	146,03	379,00	<b>38,53</b>	0,92	5,13	<b>18,03</b>	11,31	30,40	<b>37,22</b>	0,37	0,81	<b>46,06</b>	24,31	95,00	<b>25,59</b>
	242,44	576,00	<b>42,09</b>	0,76	4,57	<b>16,61</b>	10,58	35,90	<b>29,48</b>	0,33	0,74	<b>44,56</b>	18,58	82,00	<b>22,66</b>
	239,83	569,00	<b>42,15</b>	0,93	4,37	<b>21,39</b>	9,75	26,60	<b>36,65</b>	0,35	0,69	<b>51,43</b>	28,69	79,00	<b>36,31</b>
	276,81	594,00	<b>46,60</b>	0,82	4,69	<b>17,50</b>	10,81	27,10	<b>39,91</b>	0,32	0,75	<b>42,53</b>	19,94	87,00	<b>22,92</b>
	237,00	503,00	<b>47,12</b>	0,72	4,12	<b>17,51</b>	10,31	23,70	<b>43,50</b>	0,29	0,69	<b>41,68</b>	19,78	75,00	<b>26,37</b>
	229,01	487,00	<b>47,02</b>	0,57	4,93	<b>11,49</b>	11,88	30,70	<b>38,69</b>	0,26	0,73	<b>36,23</b>	21,63	94,00	<b>23,01</b>
	198,56	480,00	<b>41,37</b>	0,68	4,76	<b>14,26</b>	10,76	28,10	<b>38,28</b>	0,28	0,70	<b>39,94</b>	23,55	88,00	<b>26,76</b>
T-3	164,47	459,00	<b>35,83</b>	0,86	3,66	<b>23,62</b>	6,91	21,20	<b>32,58</b>	0,18	0,51	<b>35,88</b>	19,69	66,00	<b>29,84</b>
	71,37	318,00	<b>22,44</b>	0,56	3,62	<b>15,43</b>	8,13	19,90	<b>40,87</b>	0,22	0,52	<b>42,58</b>	14,00	64,00	<b>21,87</b>
	59,40	302,00	<b>19,67</b>	0,58	3,81	<b>15,16</b>	9,01	22,50	<b>40,03</b>	0,25	0,56	<b>45,26</b>	12,90	67,00	<b>19,25</b>
	83,13	338,00	<b>24,59</b>	0,42	3,85	<b>10,90</b>	7,50	21,90	<b>34,25</b>	0,26	0,57	<b>44,90</b>	12,53	65,00	<b>19,28</b>
	109,88	407,00	<b>27,00</b>	0,60	3,83	<b>15,75</b>	8,68	20,50	<b>42,33</b>	0,17	0,59	<b>29,52</b>	15,15	65,00	<b>23,31</b>
	107,41	464,00	<b>23,15</b>	0,30	3,73	<b>8,11</b>	5,07	19,90	<b>25,46</b>	0,28	0,64	<b>44,25</b>	15,31	65,00	<b>23,55</b>
	110,61	458,00	<b>24,15</b>	0,37	3,78	<b>9,87</b>	4,38	20,30	<b>21,56</b>	0,29	0,66	<b>43,62</b>	13,88	69,00	<b>20,12</b>
	99,51	442,00	<b>22,51</b>	0,47	3,90	<b>12,18</b>	5,37	20,20	<b>26,58</b>	0,31	0,70	<b>44,13</b>	17,35	69,00	<b>25,15</b>
	73,92	380,00	<b>19,45</b>	0,31	3,55	<b>8,70</b>	3,12	17,10	<b>18,25</b>	0,33	0,68	<b>49,08</b>	12,61	63,00	<b>20,02</b>
	82,86	376,00	<b>22,04</b>	0,32	3,09	<b>10,46</b>	2,29	15,60	<b>14,67</b>	0,29	0,65	<b>44,22</b>	17,59	56,00	<b>31,42</b>
	57,43	382,00	<b>15,03</b>	0,26	2,52	<b>10,40</b>	1,55	11,00	<b>14,13</b>	0,31	0,55	<b>55,91</b>	8,49	47,00	<b>18,07</b>
	62,11	319,00	<b>19,47</b>	0,29	2,42	<b>11,83</b>	2,33	10,10	<b>23,07</b>	0,33	0,57	<b>58,56</b>	8,81	43,00	<b>20,49</b>
	88,00	361,00	<b>24,38</b>	0,35	3,28	<b>10,70</b>	3,29	14,60	<b>22,51</b>	0,32	0,66	<b>47,94</b>	14,90	57,00	<b>26,14</b>
T-4	300,34	655,00	<b>45,85</b>	0,48	3,69	<b>13,02</b>	12,77	27,30	<b>46,77</b>	0,09	0,48	<b>18,41</b>	7,71	75,00	<b>10,28</b>
	590,37	700,00	<b>84,34</b>	0,83	3,60	<b>23,14</b>	12,12	25,90	<b>46,80</b>	0,07	0,46	<b>16,17</b>	13,39	73,00	<b>18,34</b>
	347,57	907,00	<b>38,32</b>	0,88	4,62	<b>19,15</b>	11,23	33,10	<b>33,92</b>	0,11	0,55	<b>19,69</b>	14,98	90,00	<b>16,64</b>
	390,95	657,00	<b>59,51</b>	0,52	4,37	<b>11,95</b>	11,10	27,00	<b>41,10</b>	0,13	0,52	<b>25,04</b>	18,17	81,00	<b>22,43</b>
	268,59	566,00	<b>47,45</b>	0,72	4,05	<b>17,73</b>	11,47	26,40	<b>43,45</b>	0,13	0,50	<b>26,44</b>	17,17	80,00	<b>21,46</b>
	547,08	860,00	<b>63,61</b>	0,96	4,72	<b>20,27</b>	12,08	30,80	<b>39,23</b>	0,12	0,57	<b>21,32</b>	15,15	91,00	<b>16,65</b>
	594,67	1000,00	<b>59,47</b>	0,88	5,16	<b>17,01</b>	10,89	36,10	<b>30,16</b>	0,11	0,62	<b>18,43</b>	15,68	102,00	<b>15,37</b>
	763,17	1130,00	<b>67,54</b>	1,17	5,99	<b>19,59</b>	12,64	39,60	<b>31,92</b>	0,11	0,63	<b>17,42</b>	17,54	108,00	<b>16,24</b>
	590,78	941,00	<b>62,78</b>	1,13	5,57	<b>20,24</b>	11,88	36,10	<b>32,91</b>	0,12	0,61	<b>19,89</b>	19,36	104,00	<b>18,61</b>
	448,07	846,00	<b>52,96</b>	1,26	5,18	<b>24,41</b>	9,99	29,70	<b>33,65</b>	0,12	0,55	<b>21,74</b>	28,16	94,00	<b>29,95</b>
	607,32	964,00	<b>63,00</b>	1,16	5,48	<b>21,19</b>	11,36	33,90	<b>33,51</b>	0,12	0,62	<b>19,44</b>	18,09	103,00	<b>17,56</b>
	980,21	1360,00	<b>72,07</b>	1,38	5,81	<b>23,75</b>	11,89	34,90	<b>34,07</b>	0,13	0,64	<b>19,66</b>	21,11	109,00	<b>19,37</b>
	647,95	1020,00	<b>63,52</b>	0,98	4,69	<b>20,87</b>	8,22	26,70	<b>30,77</b>	0,10	0,51	<b>18,85</b>	14,79	84,00	<b>17,61</b>

**APÊNDICE 8: Concentrações totais e potencialmente biodisponíveis dos principais elementos maiores e traços nos testemunhos coletados no sistema estuarino Goiana-Megaó, (a) testemunho T-2, (b) testemunho T-3, (c) testemunho T-4, comparados com os valores do CONAMA, Média dos folhelhos mundiais e *background* locais estabelecidos**

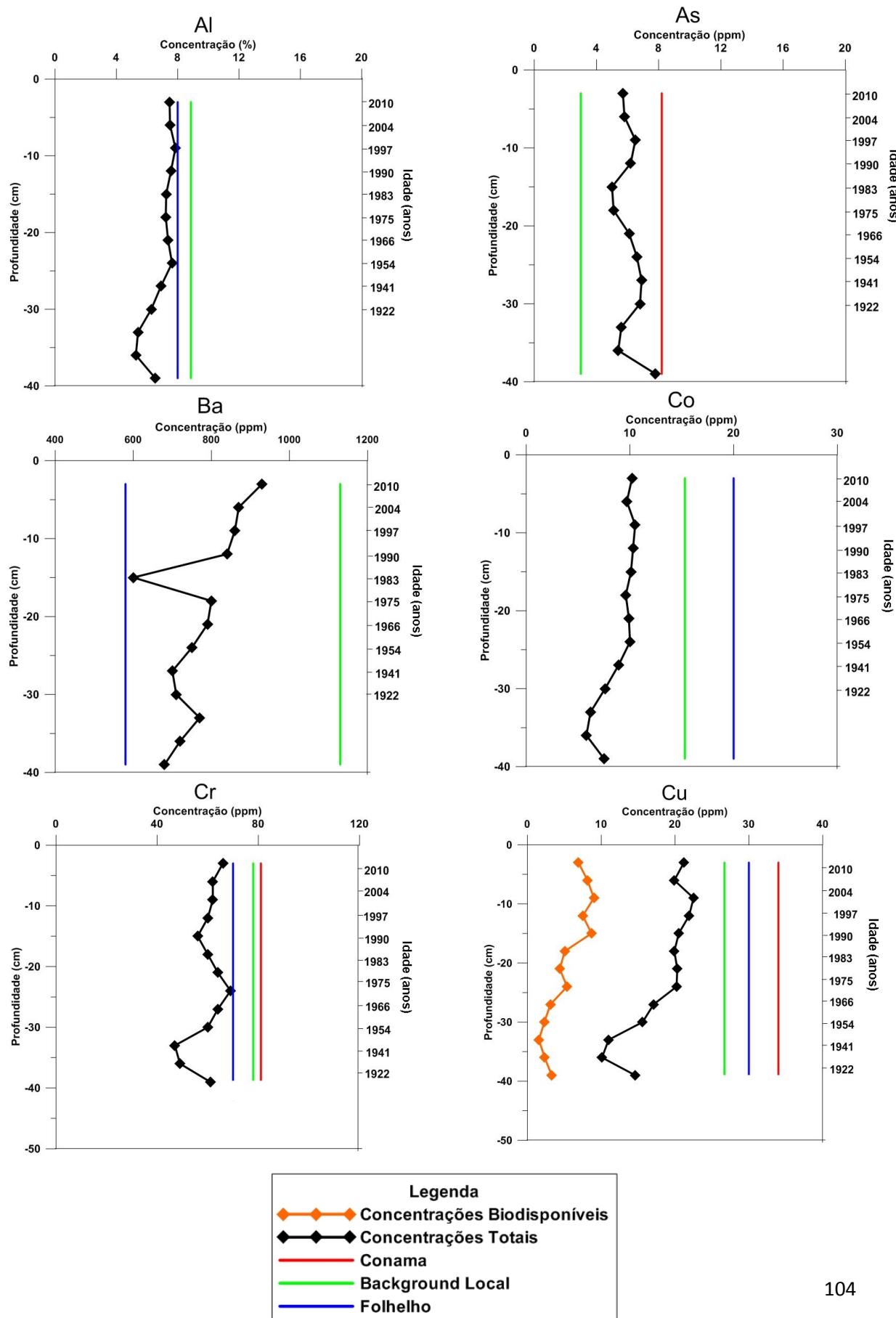
**APÊNDICE 8: (a) Concentrações totais e potencialmente biodisponíveis dos principais elementos maiores e traços Testemunho T-2**



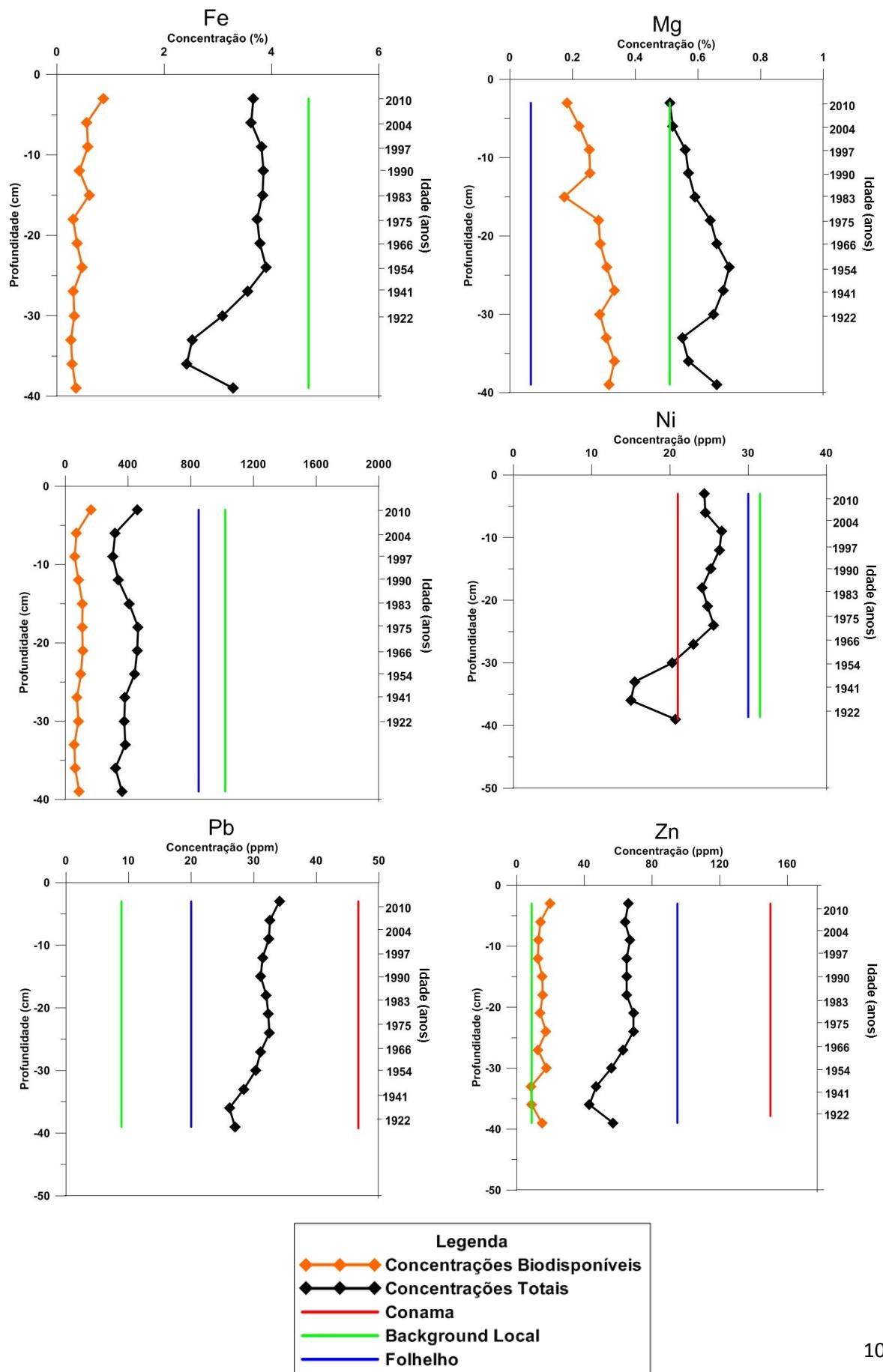
## APÊNDICE 8: (a) Continuação



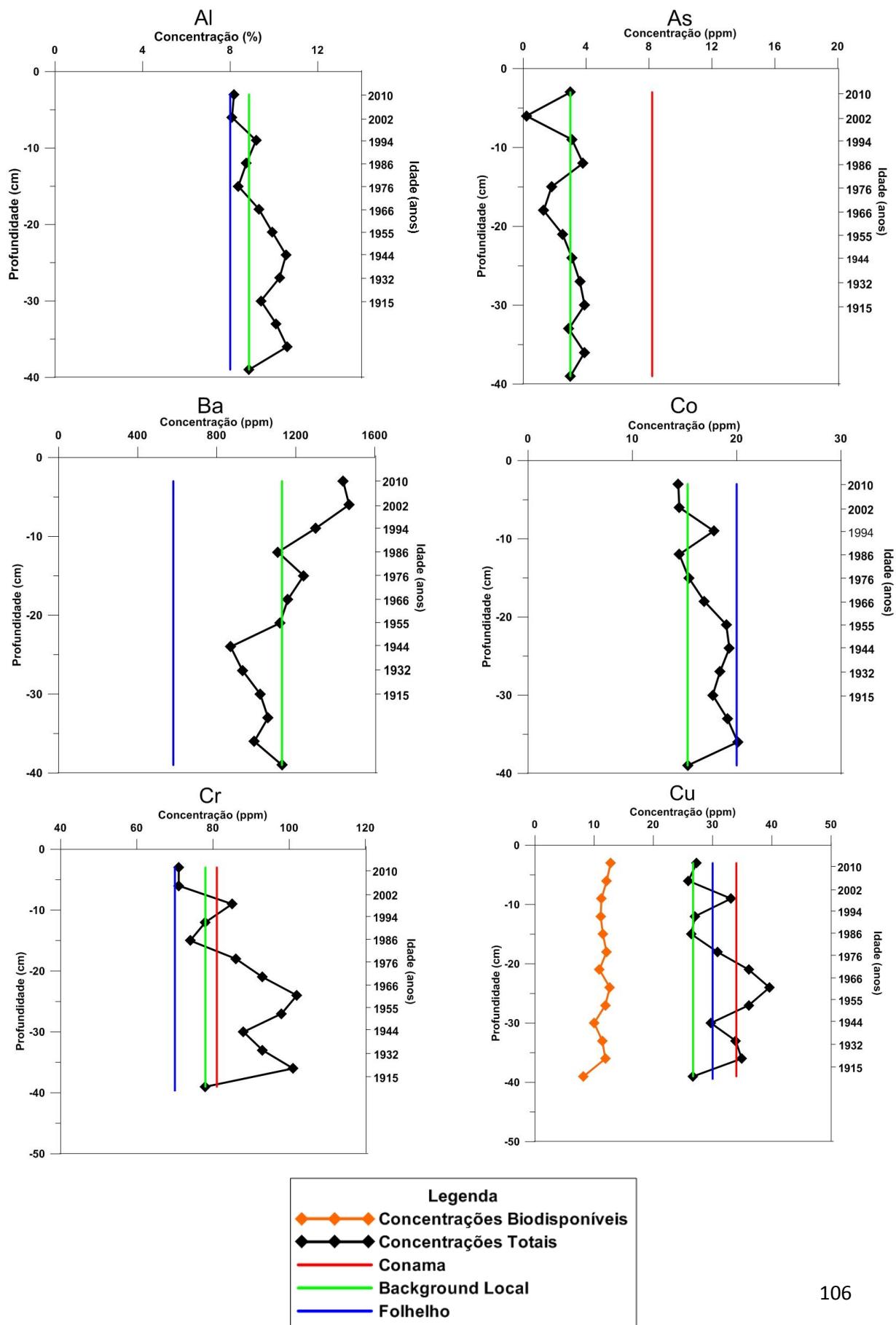
**APÊNDICE 8: (b) Concentrações totais e potencialmente biodisponíveis dos principais elementos maiores e traços Testemunho T-3**



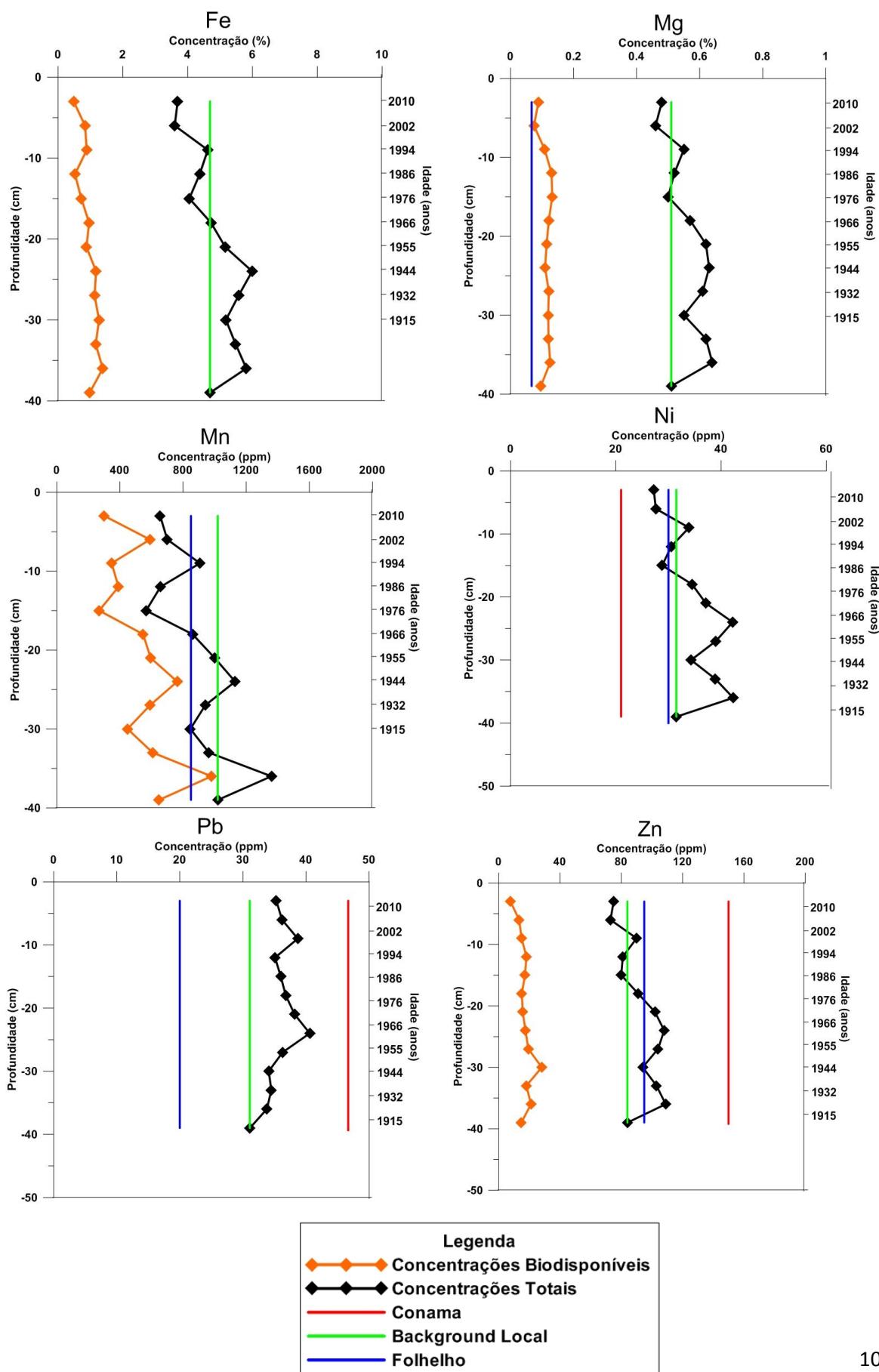
## APÊNDICE 8: (b) Continuação



## **APÊNDICE 8: (c) Concentrações totais e potencialmente biodisponíveis dos principais elementos maiores e traços Testemunho T-4**



### APÊNDICE 8: (c) Continuação



**APÊNDICE 9: Fator de enriquecimento dos elementos maiores e traços em testemunhos do sistema estuarino Goiana-Megaô**

Amostra	Ag	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf	In	K	La	Li	Mg	Mn	Mo
T-2-3	0,67	2,50	0,42	1,15	1,20	1,98	1,38	0,66	0,81	1,18	1,32	1,18	1,07	1,12	0,55	0,42	1,25	0,78	0,66	2,17	1,47	0,36	2,01
T-2-6	0,56	2,43	0,40	1,20	1,40	1,76	1,00	0,63	0,90	1,26	1,41	1,25	1,11	1,23	0,67	0,33	1,37	0,75	0,61	2,39	1,55	0,35	2,21
T-9	0,67	2,37	0,38	1,17	1,25	1,72	1,00	0,60	0,79	1,17	1,29	1,13	1,07	1,13	0,55	0,33	1,15	0,72	0,59	2,37	1,49	0,40	2,09
T-2-12	0,67	2,37	0,37	1,11	1,35	1,22	1,00	0,60	0,82	1,15	1,37	1,18	1,07	1,18	0,70	0,32	1,29	0,70	0,59	2,27	1,43	0,43	2,07
T-2-15	0,67	2,90	0,36	1,02	1,10	1,88	1,25	0,61	0,74	0,97	1,27	1,05	1,01	1,05	0,64	0,40	1,19	0,70	0,61	2,28	1,45	0,41	2,32
T-2-18	0,89	3,03	0,39	1,05	1,20	2,50	1,25	0,66	0,74	1,10	1,23	1,03	0,99	1,05	0,64	0,45	1,15	0,74	0,65	2,40	1,51	0,33	2,48
T-2-21	0,44	2,50	0,35	1,06	1,25	1,72	0,88	0,61	0,76	1,00	1,26	1,06	1,01	1,10	0,67	0,38	1,18	0,70	0,61	2,38	1,57	0,31	2,44
T-2-24	0,67	2,87	0,37	1,19	1,25	1,02	1,25	0,68	0,82	1,08	1,36	1,14	1,09	1,16	0,58	0,38	1,35	0,75	0,67	2,32	1,59	0,37	2,19
T-2-27	0,89	2,97	0,45	0,95	1,10	3,12	1,38	0,91	0,67	0,87	1,04	1,34	0,97	0,93	0,91	0,93	0,99	0,81	0,88	2,19	1,45	0,56	3,13
T-2-30	0,67	2,13	0,37	0,97	1,10	1,68	1,63	0,64	0,68	1,03	1,05	1,00	0,93	0,94	0,67	0,65	0,93	0,71	0,65	2,57	1,35	0,56	3,55
T-2-33	1,00	2,27	0,37	0,98	1,15	1,42	1,38	0,60	0,71	1,14	1,16	1,01	1,00	1,02	0,70	0,52	1,01	0,73	0,61	2,92	1,47	0,58	3,29
T-2-36	0,67	2,50	0,42	0,98	1,00	3,38	0,88	0,74	0,63	0,97	1,01	0,89	0,88	0,88	0,79	0,80	0,85	0,77	0,77	2,57	1,35	0,49	3,53
T-2-39	0,78	1,77	0,36	1,12	1,10	0,72	1,00	0,53	0,80	1,19	1,30	1,15	1,05	1,10	0,64	0,35	1,12	0,72	0,57	3,19	1,43	0,48	3,88
T-2-42	0,67	2,73	0,37	1,18	1,00	0,78	1,13	0,57	0,74	1,14	1,20	1,05	1,01	1,02	0,67	0,50	1,06	0,73	0,59	3,00	1,37	0,47	4,06
T-3-3	1,11	1,90	0,82	1,10	1,10	0,84	0,50	1,32	0,67	0,85	0,93	0,79	0,78	0,88	0,91	1,35	0,88	1,23	1,17	1,63	1,00	0,45	1,67
T-3-6	1,33	1,93	0,77	1,04	1,00	0,72	0,75	1,32	0,63	0,79	0,94	0,75	0,77	0,87	0,85	1,30	0,88	1,20	1,29	1,70	1,02	0,31	1,81
T-3-9	0,33	2,17	0,76	1,19	1,10	0,78	0,63	1,30	0,69	0,79	1,01	0,84	0,81	0,92	1,00	1,28	1,09	1,17	1,15	1,93	1,10	0,30	2,23
T-3-12	0,78	2,07	0,74	1,06	1,10	0,80	0,63	1,28	0,67	0,77	0,99	0,82	0,82	0,92	0,91	1,32	1,01	1,18	1,17	1,86	1,12	0,33	2,17
T-3-15	1,22	1,67	0,53	0,97	0,85	1,14	0,63	1,36	0,66	0,72	0,94	0,77	0,82	0,85	1,00	1,35	0,93	1,19	1,30	1,85	1,16	0,40	1,83
T-3-18	0,89	1,70	0,71	1,02	1,00	3,14	0,88	1,70	0,63	0,77	0,95	0,75	0,80	0,86	1,06	1,67	0,94	1,22	1,63	1,93	1,25	0,45	1,57
T-3-21	1,22	2,03	0,70	1,03	1,00	3,22	0,88	1,68	0,65	0,82	0,95	0,76	0,81	0,86	1,18	1,68	0,91	1,22	1,62	1,93	1,29	0,45	1,68
T-3-24	1,22	2,20	0,66	0,97	1,00	3,96	0,88	1,68	0,65	0,88	0,99	0,76	0,83	0,87	1,15	1,60	0,96	1,22	1,62	2,11	1,37	0,43	1,94
T-3-27	0,89	2,30	0,62	0,95	0,95	5,42	1,13	1,76	0,58	0,82	0,91	0,64	0,76	0,80	1,18	1,67	0,82	1,13	1,70	2,12	1,33	0,37	2,03
T-3-30	1,44	2,27	0,63	0,91	0,95	6,22	0,75	1,98	0,50	0,77	0,79	0,58	0,66	0,76	1,36	1,88	0,79	1,14	1,87	1,90	1,27	0,37	2,13
T-3-33	0,67	1,87	0,68	0,73	0,80	6,22	0,75	2,70	0,41	0,60	0,62	0,41	0,54	0,65	1,55	2,43	0,60	1,23	2,46	1,48	1,08	0,37	1,75
T-3-36	1,56	1,80	0,64	0,65	0,75	7,44	0,88	2,15	0,38	0,63	0,58	0,38	0,52	0,61	1,36	2,12	0,65	1,15	2,01	1,45	1,12	0,31	1,94
T-3-39	1,33	2,60	0,60	0,85	0,80	5,14	1,13	1,64	0,49	0,78	0,79	0,55	0,70	0,72	1,00	1,55	0,75	1,12	1,58	2,02	1,29	0,35	3,37
T-4-3	0,56	1,00	1,27	1,09	1,00	1,36	1,25	1,25	0,94	0,91	0,89	1,02	0,79	0,91	0,94	1,80	1,06	1,23	1,21	0,83	0,94	0,64	0,97
T-4-6	0,67	0,07	1,30	1,30	1,05	1,36	0,63	1,08	0,95	0,91	0,91	0,97	0,77	0,91	0,91	1,63	1,01	1,24	1,03	0,84	0,90	0,69	0,90
T-4-9	0,67	1,03	1,15	1,34	1,25	1,04	1,13	0,92	1,16	1,09	1,17	1,24	0,99	1,08	0,79	1,18	1,21	1,12	0,90	1,11	1,08	0,89	1,21
T-4-12	0,44	1,27	0,98	1,15	1,10	1,06	1,00	1,16	0,95	1,00	1,04	1,01	0,93	1,02	0,85	1,35	1,13	1,07	1,15	1,19	1,02	0,64	1,15
T-4-15	0,67	0,60	1,10	1,07	1,05	1,12	1,13	1,16	1,01	0,95	0,95	0,99	0,86	0,95	1,00	1,27	1,06	1,13	1,14	1,00	0,98	0,55	1,17
T-4-18	0,78	0,43	1,03	1,27	1,15	0,88	1,13	0,87	1,10	1,10	1,17	1,15	1,01	1,05	0,94	1,02	1,07	1,09	0,86	1,16	1,12	0,84	1,32
T-4-21	0,67	0,83	0,99	1,28	1,30	0,86	1,13	0,77	1,24	1,19	1,33	1,35	1,10	1,14	0,91	0,75	1,32	1,05	0,77	1,18	1,22	0,98	1,26
T-4-24	0,78	1,03	0,77	1,34	1,50	0,58	1,00	0,68	1,26	1,31	1,55	1,48	1,28	1,28	0,85	0,52	1,40	0,93	0,65	1,37	1,24	1,11	1,29
T-4-27	1,00	1,20	0,82	1,26	1,25	0,80	1,38	0,84	1,20	1,26	1,34	1,35	1,19	1,18	0,85	0,75	1,38	0,96	0,85	1,40	1,20	0,92	1,44
T-4-30	0,89	1,30	0,90	1,11	1,10	0,76	1,00	1,33	1,16	1,13	1,10	1,11	1,10	1,08	1,12	1,35	1,19	0,95	1,30	1,22	1,08	0,83	1,30
T-4-33	0,56	0,97	0,94	1,16	1,10	0,82	0,88	0,95	1,25	1,19	1,27	1,27	1,17	1,16	1,03	0,85	1,19	0,94	0,94	1,19	1,22	0,95	1,27
T-4-36	0,89	1,30	0,88	1,18	1,20	0,76	1,38	0,74	1,31	1,29	1,31	1,31	1,24	1,18	0,76	0,65	1,31	0,90	0,75	1,21	1,25	1,33	1,31
T-4-39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

## APÊNDICE 9: Continuação

Amostra	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	Th	Ti	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr
T-2-3	0,83	1,06	1,12	0,85	1,12	1,07	3,21	1,80	1,08	1,00	1,03	0,99	1,03	0,69	1,03	1,25	0,75	1,09	1,38	0,86	1,18	0,44
T-2-6	1,00	1,17	1,27	0,79	1,14	1,11	2,77	1,50	1,16	1,00	1,09	0,98	1,00	0,61	1,03	1,23	0,69	1,16	1,50	0,86	1,20	0,35
T-9	1,16	1,07	1,17	0,80	1,11	1,02	3,65	1,80	1,05	1,00	1,06	0,92	0,95	0,62	1,00	1,20	0,69	1,05	1,38	0,76	1,13	0,34
T-2-12	1,16	1,10	1,19	0,86	1,12	1,07	3,33	1,60	1,11	1,00	1,09	0,74	0,97	0,62	0,99	1,23	0,69	1,08	1,25	0,77	1,14	0,33
T-2-15	1,21	0,96	1,07	0,75	1,05	1,00	4,60	1,70	1,00	1,00	0,95	0,89	0,64	0,93	1,18	0,75	0,98	1,25	0,74	1,05	0,41	
T-2-18	1,20	1,04	1,08	0,69	1,05	1,02	4,67	2,00	0,97	1,00	1,00	1,20	0,95	0,70	0,95	1,18	0,83	0,99	1,25	0,81	1,04	0,47
T-2-21	1,27	1,05	1,11	0,69	1,11	1,01	4,67	1,90	1,01	1,00	1,03	0,85	0,92	0,64	0,98	1,17	0,81	1,02	1,25	0,77	1,10	0,39
T-2-24	1,35	1,12	1,19	0,75	1,10	1,11	4,31	1,60	1,16	1,00	1,00	0,75	0,97	0,70	1,03	1,17	0,77	1,09	1,38	0,89	1,13	0,41
T-2-27	1,39	1,01	0,92	0,61	1,03	0,95	6,48	2,00	0,89	1,00	0,88	1,40	0,95	1,04	0,97	1,08	1,13	0,85	1,13	0,96	0,98	0,99
T-2-30	1,47	0,91	0,96	0,54	0,95	0,90	6,12	2,30	0,89	1,00	0,91	0,97	0,87	0,70	0,88	1,08	0,87	0,90	1,13	0,77	0,94	0,69
T-2-33	1,36	1,00	1,04	0,55	0,99	0,94	6,46	2,20	0,98	1,50	0,97	0,80	1,01	0,66	0,96	1,17	0,81	1,00	1,13	0,74	1,04	0,53
T-2-36	1,33	0,92	0,91	0,47	0,94	0,88	5,69	2,40	0,86	1,00	0,85	1,45	1,16	0,86	0,90	1,10	1,00	0,81	1,13	0,82	0,89	0,84
T-2-39	1,29	0,94	1,18	0,44	0,95	1,02	6,65	2,30	1,06	1,00	0,97	0,56	0,91	0,57	0,96	1,23	0,83	1,10	1,25	0,75	1,12	0,37
T-2-42	1,43	0,92	1,07	0,45	0,95	0,95	6,54	2,50	0,98	1,00	0,91	0,57	0,89	0,62	0,93	1,08	0,94	1,02	1,13	0,77	1,05	0,51
T-3-3	1,15	1,08	0,77	0,57	1,10	1,04	1,83	1,60	0,89	1,50	0,82	1,01	1,14	1,49	1,02	1,10	1,31	0,81	1,13	1,02	0,79	1,48
T-3-6	1,27	1,10	0,78	0,51	1,05	1,04	2,96	1,60	0,89	1,50	0,85	0,93	1,21	1,45	1,02	1,10	1,29	0,82	1,13	1,03	0,76	1,41
T-3-9	1,36	1,10	0,84	0,49	1,04	1,07	3,63	1,70	0,96	1,50	0,85	0,93	1,12	1,39	1,02	1,10	1,35	0,85	1,13	1,05	0,80	1,43
T-3-12	1,40	1,07	0,83	0,47	1,01	1,05	4,58	1,60	0,92	1,50	0,85	0,92	1,12	1,36	1,01	1,10	1,27	0,83	1,00	1,03	0,77	1,43
T-3-15	1,43	1,17	0,80	0,43	1,00	1,02	4,87	1,40	0,89	1,00	0,79	1,02	1,29	1,47	1,01	1,00	1,25	0,77	1,00	1,04	0,77	1,47
T-3-18	1,35	1,22	0,77	0,44	1,03	1,06	4,54	1,70	0,87	2,00	0,82	1,61	1,32	1,88	1,10	1,05	1,52	0,73	1,00	1,21	0,77	1,79
T-3-21	1,43	1,12	0,79	0,45	1,04	1,05	4,73	1,60	0,89	1,50	0,82	1,68	1,21	1,78	1,11	1,10	1,48	0,75	1,00	1,19	0,82	1,77
T-3-24	1,40	1,15	0,81	0,46	1,05	1,08	4,90	1,70	0,89	1,50	0,85	1,93	1,35	1,79	1,09	1,10	1,58	0,76	1,13	1,24	0,82	1,80
T-3-27	1,28	1,09	0,73	0,45	1,00	0,99	4,37	1,70	0,84	2,00	0,76	2,33	1,14	1,96	1,03	1,00	1,58	0,67	1,00	1,21	0,75	1,75
T-3-30	1,13	1,17	0,64	0,44	0,97	0,93	3,75	1,80	0,75	1,50	0,73	2,55	1,51	2,22	1,08	1,07	1,81	0,59	1,13	1,25	0,67	2,00
T-3-33	0,92	1,28	0,49	0,45	0,91	0,89	2,88	1,60	0,68	2,00	0,64	2,53	1,76	3,00	1,20	0,88	2,13	0,51	1,00	1,49	0,56	2,53
T-3-36	1,08	1,04	0,48	0,41	0,84	0,82	2,94	1,50	0,62	1,50	0,55	2,89	1,29	2,45	1,05	0,83	1,92	0,47	1,00	1,29	0,51	2,15
T-3-39	1,27	1,04	0,66	0,42	0,87	0,90	4,13	1,90	0,73	1,50	0,67	2,18	1,60	1,77	1,01	0,88	1,62	0,60	1,00	1,13	0,68	1,68
T-4-3	1,21	1,11	0,86	0,65	1,14	1,02	0,65	0,60	0,96	1,00	0,88	1,42	1,21	1,32	1,03	1,02	1,33	0,94	1,00	1,76	0,89	1,72
T-4-6	1,27	1,18	0,88	0,61	1,16	1,04	0,48	0,70	0,94	1,00	0,88	1,43	1,21	1,13	1,00	1,10	1,19	0,91	1,00	1,09	0,87	1,59
T-4-9	0,99	1,24	1,08	0,81	1,24	1,14	0,73	1,20	1,10	1,00	1,03	1,13	1,21	0,91	1,08	1,23	1,06	1,07	1,19			
T-4-12	0,95	1,13	0,97	0,83	1,13	1,04	1,37	1,00	1,02	1,50	0,91	1,05	1,14	1,25	1,04	1,13	1,21	0,98	1,13	1,08	0,96	1,34
T-4-15	1,12	1,06	0,91	0,65	1,16	0,99	1,65	1,00	0,97	1,00	0,88	1,19	1,13	1,21	1,00	1,10	1,21	0,96	1,13	1,08	0,95	1,29
T-4-18	0,96	1,16	1,10	0,81	1,18	1,14	1,08	1,20	1,10	1,00	0,97	1,01	1,18	0,85	1,09	1,25	1,00	1,11	1,25	1,05	1,08	1,05
T-4-21	0,88	1,32	1,18	0,89	1,23	1,22	0,73	1,70	1,21	1,00	1,06	0,88	1,30	0,74	1,17	1,35	0,85	1,19	1,38	1,05	1,21	0,78
T-4-24	0,68	1,46	1,34	1,01	1,31	1,21	0,77	1,20	1,34	1,50	1,15	0,64	1,49	0,73	1,25	1,50	0,85	1,35	1,75	1,07	1,29	0,53
T-4-27	0,77	1,20	1,24	1,12	1,17	1,14	1,35	1,00	1,23	1,50	1,06	0,76	1,15	0,83	1,17	1,28	0,94	1,23	1,38	1,06	1,24	0,80
T-4-30	0,88	1,22	1,09	0,98	1,10	1,02	1,50	1,50	1,12	1,50	0,94	0,86	1,18	1,40	1,13	1,13	1,35	1,05	1,13	1,20	1,12	1,47
T-4-33	0,89	1,15	1,23	1,02	1,11	1,11	1,13	1,10	1,21	1,50	1,03	0,83	1,12	0,92	1,13	1,20	0,98	1,23	1,25	1,04	1,23	0,93
T-4-36	0,76	1,06	1,34	1,08	1,09	1,10	0,92	1,20	1,24	1,50	1,00	0,71	1,03	0,72	1,17	1,25	0,83	1,28	1,38	0,99	1,30	0,68
T-4-39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1