



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**ESTUDO GEOQUÍMICO E BIOGEOQUÍMICO DO SEDIMENTO, ÁGUA
INTERSTICIAL E AVICENNIA GERMINANS NO MANGUEZAL DE
BRAGANÇA - AJURUTEUA, NE DO PARÁ.**

TESE APRESENTADA POR

HELENICE FERREIRA LEAL

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: **06 / 06 / 2001**

Comitê de Tese:

JOSÉ FRANCISCO DA FONSECA RAMOS (Orientador)

JOSÉ AUGUSTO MARTINS CORRÊA

WATERLOO NAPOLEÃO DE LIMA

Belém

Ao meu marido, Flávio, por todo apoio e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Ao projeto MADAM que desde minha iniciação científica tem me apoiado com todo o necessário.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico(CNPq) pela concessão da bolsa que tornou possível eu fazer o mestrado.

Ao laboratório de Química da Eletronorte, que tornou possível as análises dessa Tese.

“Compartilhe seu conhecimento.
Esta é a maneira de alcançar a imortalidade.”

Dalai Lama

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
EPÍGRAFE	iii
RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO	3
1.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	5
2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	
2.1. GEOLOGIA.....	7
2.2. GEOMORFOLOGIA.....	7
2.2.1. Características dos Ambientes da Planície Costeira Bragantina	8
2.3. VEGETAÇÃO	12
2.3.1. <i>Rhizophora mangle</i>	13
2.3.2. <i>Avicennia germinans</i>.....	14
2.3.3. <i>Laguncularia racemosa</i>	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
3.1. METAIS PESADOS EM SEDIMENTO E EM PLANTAS.....	16
3.2. SALINIDADE	21
3.3. MACRONUTRIENTES E Na.....	22
3.4. MANGUEZAIS NO BRASIL	25
3.4.1.Histórico	25
3.4.2.Manguezais ao longo da Costa brasileira	27

4. METODOLOGIA	
4.1. METODOLOGIA DE CAMPO.....	30
4.2. METODOLOGIA DE LABORATÓRIO	31
4.2.1. Físico-químicos.....	31
4.2.2. Determinação de argilos-minerais	31
4.2.3. Análise de Infravermelho.....	31
4.2.4. Determinação de Metais Pesados	31
4.2.5. Determinação de macronutrientes e Na	31
4.2.6. Determinação da granulometria	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
5.1. DIFRATOMETRIA DE RAIO-X.....	38
5.2. ESPECTROMETRIA DE INFRAVERMELHO	38
5.3. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	39
5.3.1. Umidade.....	40
5.3.2. Matéria Orgânica	44
5.3.3. pH.....	45
5.3.4. Salinidade	49
5.4. MACRONUTRIENTES E Na	53
5.5. GRANULOMETRIA.....	61
5.6. METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS E ÁRVORES	65
6. CONCLUSÃO.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
ANEXOS	95
Tabela I – Parâmetros Físico-químicos em todas as campanhas nos sedimentos e água intersticial.....	96

Tabela II – Concentração de metais pesados na fase residual e não residual em novembro de 1998 nos sedimentos.....	97
Tabela III – Concentração de metais pesados na fase residual e não residual em julho de 1999 nos sedimentos.	98
Tabela IV – Concentração de metais pesados na fase residual e não residual em dezembro de 1998 nos sedimentos.	99
Tabela V – Concentração dos macronutrientes e Na na água intersticial.....	100
Tabela VI – Granulometria em todas as áreas.....	101
Tabela VII – Concentração de metais pesados nas plantas.....	102

RESUMO

Este estudo apresenta a concentração de metais pesados, matéria orgânica e umidade nos sedimentos; salinidade, pH, Na, K, Ca e Mg na água intersticial e metais pesados em raízes, caule, hastes e folhas de *Avicennia germinans*. Os metais pesados foram determinados na fase residual e não-residual. O objetivo foi determinar se o manguezal de Bragança pode atuar como uma barreira biogeoquímica a entrada de metais pesados em áreas costeiras, através da imobilização destes nos sedimentos sob formas indisponíveis e de adaptações fisiológicas típicas de árvores de *Avicennia germinans*.

Os metais pesados nos sedimentos apresentaram as concentrações baixas: Fe residual (8536 ppm), Fe não residual (1772 pm), Mn Residual (38 ppm), Mn não residual (29 ppm), Zn residual (18 ppm), Zn não residual (10 ppm), Cr (19 ppm), Pb(10 ppm) e Co(1 ppm).

Dos metais estudados neste trabalho o que apresentou melhores correlações com outros metais foi o Fe, possivelmente devido a formar sulfetos mais facilmente que outros metais, sendo que na verdade estas correlações devem-se ao sulfeto propriamente dito e não ao Fe em si. Correlações significativas do Zn com matéria orgânica, Mn e Fe foram também encontradas.

Nas plantas de *Avicennia germinans* o Mn foi o mais móvel apresentando concentração nas folhas(120 ppm) maior que os outros(Fe=35 ppm e Zn=9 ppm) isso se deve ao fato do Mn formar sulfetos com baixa estabilidade, mais móvel que os outros metais e portanto mais disponível para absorção pelas plantas. O Fe concentrou-se nas raízes(564 ppm), isso indica que o oxigênio liberado pelas raízes de *Avicennia* oxida o Fe^{+2} solúvel, originário da água intersticial, a $Fe(OH)_3$ insolúvel que precipita e que é poderoso coprecipitante de outros metais pesados, dando origem a presença constante de placas de Fe nas raízes de *Avicennia germinans*.

ABSTRACT

This research shows a concentrations of heavy metal, organic matter and moisture in the sediments; salinity, pH, Na, K, Ca and Mg in the interstitial water and heavy metal in roots, trunks, stems and leaves of *Avicennia germinans*. The heavy metal were determined in the weakly and strongly bound. The aim of that research was to stabilish if the Bragança's Mangrove can function as a biogeochemical barrier to the input of the heavy metal on coastal areas through the immobilization of those in the sediments under anbioavailable and the physiological adaptations typical of the *Avicennia germinans* plants.

The heavy metals: Fe (8536 ppm), Mn (38 ppm), Zn (18 ppm), Cr (19 ppm), Pb(10 ppm) and Co(1 ppm) in strogly bound, Fe (1772 pm), Mn (29 ppm), Zn (10 ppm) in weakly bound showed low concentration in the sediments.

Among the metals studied, the Fe was the one which showed the best correlations with the other ones, which forms sulfates more easily than the other metals. Significant correlations between Zn if organic matter, Mn and Fe were also found.

The most available metal in the *Avicennia germinans* was the Mn, showing bigger concentration in the leaves(120 ppm) than others (Fe=35 ppm and Zn=9 ppm), that happens because of the Mn which form sulfates with low stability, therefore more available to be absorbed for the plants. The oxygen released through the *Avicennia* roots which oxids the soluble Fe of the interstitial water and as a result of this we have the Fe insoluble that precipitous itself and is also a powerful coprecipitant of the other heavy metals, growing this way, origin to a constant presence of the iron plaques in the roots of *Avicennia germinans*.

1 - INTRODUÇÃO

Os manguezais são comunidades florestais que ocorrem nas zonas intertropicais do mundo, podendo também existir em latitudes subtropicais, em áreas com grande taxa de acumulação de sedimentos finos e lentas mudanças químicas da água (Turner, 1976). Essas áreas apresentam uma alta produtividade primária, resultante de grandes concentrações de matéria orgânica na água (Furukawa & Wolanski, 1996).

Nos últimos anos, pesquisas realizadas em ecossistemas de manguezal tem mostrado que estes são eficientes barreiras biogeoquímicas de metais pesados, podendo suas plantas serem usadas como monitores biológicos de poluição por metais pesados (Campos & Gallo, 1997; Lacerda *et al.*, 1995, Thomas & Fernandez, 1997, Lacerda, 1997), porém nenhum estudo foi realizado em áreas não contaminadas, e são poucas as comparações entre a concentração desses metais em sedimentos e em plantas.

Próximo a cidade de Bragança, nordeste do Pará, encontra-se uma floresta de mangue. Esse tipo de vegetação domina 75% da linha de costa tropical, e é de grande importância, particularmente como fonte de nutrientes para a cadeia alimentar marinha. Damásio (1980) afirma que a grande quantidade de folhas que caem nas águas, depositando-se posteriormente no fundo, tornam os solos extremamente ricos em nutrientes, devido a degradação deste material pelas bactérias, proporcionando excepcional incremento à proliferação de uma microflora bentônica e epifítica, fazendo com que as populações de herbívoros bentônicos sobrepujem o zooplâncton. Como consequência, inúmeras espécies de peixes, moluscos e crustáceos dispõem direta ou indiretamente desse alimento para sua sobrevivência.

O presente estudo se desenvolve no âmbito do projeto MADAM (Mangrove Dynamics and Management/ Manejo e Dinâmica de áreas de Manguezais), que tem como objetivo o estudo do ecossistema manguezal localizado no município de Bragança, criando uma base de desenvolvimento científico e de sustentabilidade dessa área, pois o aumento da exploração dos recursos naturais, em função do rápido crescimento populacional, turístico e do desenvolvimento urbano, tem afetado essa área de manguezal nas últimas décadas.

O subprojeto Biogeoquímica de Manguezais, desenvolvido pelos colaboradores da área de geoquímica ambiental, tem como objetivo estudar as características geoquímicas da água intersticial e sedimento, suas relações com as plantas, em áreas desmatadas e naturais, visando en-

tender o funcionamento do ecossistema, com base na avaliação de diferentes variáveis ambientais.

O manguezal de Bragança-Ajuruteua apresenta-se como ótimo local de estudo, pois ele consiste numa área não contaminada onde podem ser obtidos valores de background para metais pesados nos sedimentos e em plantas, dados importantes para comparações com áreas contaminadas e para a investigação da hipótese de que plantas de manguezal sejam ou não bioacumuladoras de metais pesados, e se podem ou não serem usadas para monitoramento biológico da poluição por metais pesados.

Este estudo apresenta a identificação mineralógica e de fases amorfas, dados físicos e físico-químicos (salinidade, umidade, matéria orgânica e pH) em sedimentos do manguezal e as concentrações dos metais pesados Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Cd e Pb nos sedimentos e plantas do manguezal. Na água intersticial obteve-se dados de Na e dos macronutrientes K, Ca e Mg.

1.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região estudada, encontra-se no norte do Brasil, no Estado do Pará, a 200 Km de sua capital, Belém, próximo à cidade de Bragança, entre os meridianos 46° 50' W e 46°35' W e paralelos 0° 45' S e 1°07' S (Figura 1).

A área de estudo é ao longo da rodovia Bragança-Ajuruteua e abrange uma área de pântano e arredores de aproximadamente 150 hectares. Essa área foi dividida em cinco: (1) área de *Avicennia anã* (AV), do lado esquerdo da rodovia, no sentido Bragança-Ajuruteua, com árvores de *Avicennia anã* e plântulas de *Avicennia*, (2) área de Campo (CA), do lado esquerdo da rodovia, no sentido Bragança-Ajuruteua, com *Crinum undulatum* (capim) adensado, (3) área da Fazenda (FA), do lado direito da rodovia, no sentido Bragança-Ajuruteua, com *Montrichardia arborescens* (capim) constantemente queimado, (4) área Desmatada (DE), do lado esquerdo da rodovia, no sentido Bragança-Ajuruteua, com restos de troncos de árvores e sedimento coberto com capa de sal e (5) a área do Pântano Salino (PS), do lado esquerdo da rodovia, no sentido Bragança-Ajuruteua, com árvores de *Avicennia* e sedimento constantemente inundado.

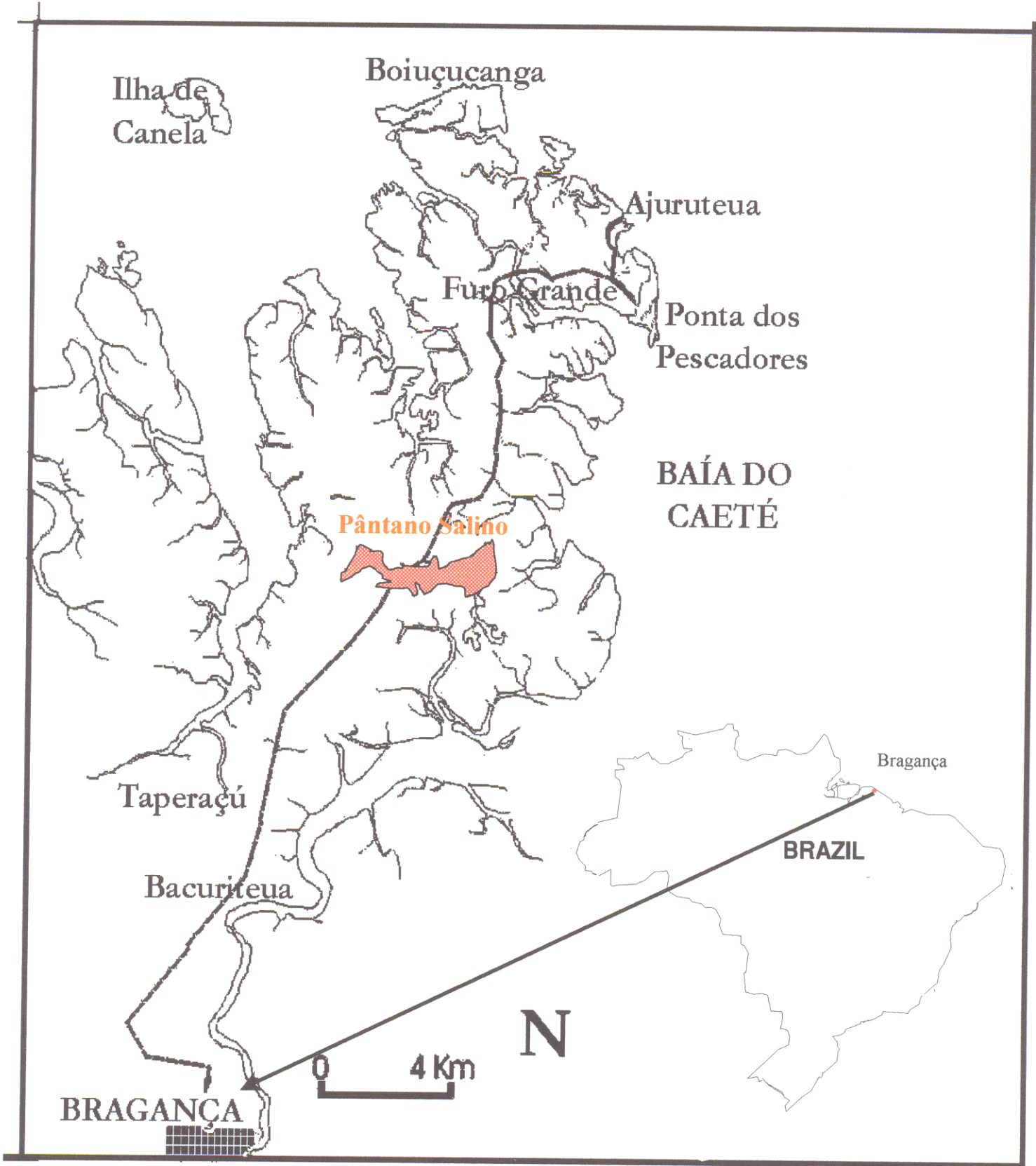


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo

2 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 - GEOLOGIA

A Planície Costeira Bragantina constitui um sistema deposicional dominado por macromaré (5-6 metros de amplitude) formada por extensos manguezais e estuários. Ela está situada na bacia cretácea de Bragança-Viseu e sua geometria e paleotopografia estão associadas a movimentações neotectônicas, que tem controlado a espessura dos depósitos terciários e quaternários (Souza Filho, 1995).

O terciário é marcado inicialmente pela sedimentação da formação Pirabas no mioceno inferior (El-Robrini & Souza Filho, 1996). Esta é constituída por camadas de calcários, depositados em plataforma carbonática marinha rasa e, secundariamente em lagunas e mangues. Subseqüentemente à deposição, predominantemente transgressiva, houve uma fase regressiva responsável pela sedimentação do grupo Barreiras (El-Robrini & Souza Filho, 1996).

O grupo Barreiras foi datado do mioceno inferior (El Robrini & Souza Filho, 1996) e é constituído por conglomerados polimíticos com intercalações de sedimentos arenosos e argilosos, sendo possível identificar 13 fácies sedimentares, admitindo-se o modelo deposicional do tipo leque aluvial - planície de areia - planície de lama, com influência marinha na porção mais distal do sistema.

Na Planície Costeira Bragantina, o Grupo Barreiras constitui a única unidade aflorante, que sustenta o Planalto Costeiro que margeia a planície costeira.

O quaternário é representado por sedimentos areno-argilosos pleistocênicos do Pós-Barreiras (Souza Filho, 1995) e por depósitos de Planície aluvionar, estuarina e costeira sedimentar recente.

2.2 - GEOMORFOLOGIA

A Planície Costeira Bragantina, no nordeste do estado do Pará, apresenta cerca de 40 Km de linha de costa, estendendo-se desde a Ponta de Maiaú até a foz do Rio Caeté. A Planície Costeira Bragantina possui ambientes de pântanos salinos (internos e externos), planícies de maré (manguezal de supramaré, manguezal de intermaré e planície arenosa), chêniers, dunas costeiras e praias.

2.2.1 - Características dos Ambientes da Planície Costeira Bragantina

- Pântano Salino

Apresenta um espesso pacote de lama com máximo de 600 cm e recobre depósito de canal abandonado, representado pelas fácies areia de canal fluvial. Os 500 cm basais são constituídos por lama de coloração cinza médio, sem estrutura sedimentar aparente. Os sedimentos subsequentes são constituídos por lama oxidada de coloração cinza oliva claro, superposta por lamas ricas em matéria orgânica fragmentada, de coloração preto acastanhada.

- Manguezal de supramaré

Tem espessura do depósito superior a 500 cm. É constituído superficialmente (25 cm) por lama orgânica oxidada, de coloração cinza amarelada com manchas marrom oliva claro, é fitoturbada com marcas e fragmentos de raízes. Em profundidade (25-65 cm) ocorre um pacote de lama orgânica de coloração cinza médio, sem estruturação aparente, representativa da planície de supramaré lamosa. Topograficamente mais elevado, menor porte arbóreo e influenciado pelas marés somente durante a maré de sizígia.

- Manguezal de intermaré

O mangue de Intermaré tem espessura que varia de 300 a 600 cm. De 430 a 40 cm, ocorre pacote de lama orgânica, de coloração cinza médio, sem estrutura sedimentar parente, fitoturbado com marcas e fragmento de raízes, representativo da planície de intermaré lamosa. O pacote superior (40-0 cm) é constituído por lama orgânica oxidada, de coloração amarelo escuro,

com manchas marrom claro, bastante fitoturbada por fragmentos de raízes. Esta unidade representa o episódios de progradação lamosa holocênica da planície costeira.

- Dunas

As dunas longitudinais e piramidais vegetadas são compostas por areias quartzosas angulosas, muito finas, bem selecionadas e com poucos fragmentos de concha. As dunas longitudinais apresentam estratificação cruzada tabular de grande porte, mergulhando $26^{\circ}/210^{\circ}$ Az e marcas de raízes, enquanto as dunas piramidais apresentam camadas que mergulham em sentido oposto à linha de crista da duna, que é paralela a direção dos ventos alísios, resultando na estratificação cruzada oblíqua. Dunas barcanóides e piramidais não fixadas, ocorrem sobre o pós-praia, constituindo um campo de dunas móveis com 0,5 a 1 metro de altura, que migram rumo ao continente.

Esta unidade é formada pelo retrabalhamento eólico dos sedimentos das planícies arenosas e das praias. As dunas migram rumo ao continente, soterrando o depósitos de manguezal da planície lamosa.

- Chêniers

Apresenta espessura máxima de 550 cm, cujo pacote arenoso repousa em discordância erosiva sobre um pacote lamoso de 130 cm de espessura, com topo exibindo tubos biogênicos preenchidos por areias finas, evidenciando uma superfície de exposição subaérea. Um nível de conchas de *Mytela* sp. em posição de vida e fragmentos de conchas são observados neste intervalo. O intervalo basal (130-100 cm) é marcado por estratificação inclinada, mergulhando 23° rumo ao continente, com alternância de estratos milimétricos de areia fina e matéria orgânica, caracterizando a estratificação de camadas frontais da porção distal do leque de lavagem, superposta por intervalo de 100-0 cm, onde ocorrem sedimentos arenosos finos, de coloração castanho amarelado pálido a laranja muito pálido, bem selecionados, bastante bioturbado e com estrutura mosqueada, característica da porção proximal do leque de lavagem e/ou depósito de estirâncio, que representa estratificação horizontal (Souza Filho, 1995). Os 300 cm superiores deste depósito de chêniers são constituídos por dunas vegetadas, de areias muito finas, de coloração marrom pálido, bem selecionadas, cujas estruturas primárias estão completamente obliteradas por processos pedogênicos.

- Planície arenosa

Apresenta espessura superior a 400 cm. O intervalo basal (430-350 cm) é caracterizado por areias finas a muito finas, de coloração cinza muito claro, bem selecionadas, com estrutura maciça, com alguns fragmentos de conchas e micas; enquanto o intervalo subsequente (350-200 cm) apresenta estratificações plano-paralelas, cruzadas tangenciais e marcas onduladas, além de acamamento flase simples, tubos biogênicos preenchidos por lama e clastos de argila retrabalhado. O pacote superior (200-0 cm) é constituído por areias quartzosas finas, cinza muito claro, bem selecionadas, com estrutura aparentemente maciça.

- Estirâncios

A espessura varia de 50 cm a 300 cm, tendo sido depositada sobre manguezais de intermaré. Na zona de espraiamento, próximo a escarpa da praia, observando-se estratificações cruzadas de baixo ângulo, desenvolvidas por migração de marcas onduladas. São constituídas em profundidade por areias quartzosas finas, bem selecionadas, com estratificação cruzada planar de baixo ângulo, que caracteriza os depósitos de estirâncio. Os sedimentos arenosos migram sobre a unidade morfoestratigráfica manguezal de intermaré, constituindo, deste modo, praias transgressivas.

Tabela 1 - Características geomorfológicas da Planície Costeira Brasileira

Unidades Morfoestratigráficas	Características dos sedimentos	Morfologia	Tempo de inundação	Vegetação
Planície de Inundação	Lama cinza oliva clara rica em fragmentos orgânicos e fitoturbações	Áreas planas limitadas por levees e pelo planalto costeiro	No período de grandes cheias	Herbáceas
Diques Marginais	Areia lamosa cinza oliva clara, fitoturbada e rica em fragmentos orgânicos	Diques vegetados ao longo do canal fluvial	No período de grandes cheias	Mangue
Barra de Canal	Areia fina e média de cor amarelo pálido, com marcas onduladas.	Barras arenosas longitudinais de meio de canal e barras arenosas em pontal	Constantemente inundados	
Manguezal de Supramaré	Lama superficial oxidada, cinza acastanhada, fitoturbada com marcas e fragmentos orgânicos. Seguida de lama cinza médio, intercalada com fragmentos de matéria orgânica.	Planície de supramaré, colonizada por mangues de pequeno porte	Inundação irregular durante as marés de sizígia mais altas(5-6m).	Mangue
Pântano Salino	Camada superficial rica em fragmentos orgânicos pretos acastanhados escuros, seguida de lama oxidada de cor marrom amarelada e por lama cinza médio, maciça, com areias formando acamamento lenticular.	Planície de supramaré encaixada em uma paleorede de drenagem colmatada, limitada pelo planalto costeiro e recortada por córregos de maré.	Inundação irregular durante as marés de sizígia mais altas(5-6m) e durante todo o período chuvoso	Herbáceas
Manguezal de Intermaré	Lama superficial oxidada, cinza acastanhada, seguida de lama cinza médio, sem estrutura aparente, fitoturbada com marcas e fragmentos orgânicos.	Planície de intermaré, colonizada por mangues de grande porte	Inundado regularmente pela maré semidiurna	Mangue
Planície arenosas	Areias quartzosas, finas, cinza muito claro, com estruturação maciça, estratificação plano paralela, cruzada tangencial de pequeno porte, acamamento flaser e clastos de argila retrabalhados.	Extensas áreas planas, recortadas por canais de marés, com ondulações e barras expostas durante a maré baixa.	Inundado regularmente pela maré semidiurna	
Barra em pontal	Areias quartzosas, finas, cinza muito claro, intercaladas com lama, formando estrutura heterolítica inclinada.	Forma lunada	Constantemente inundados	
Dunas Costeiras	Areias quartzosas, muito finas, amarelo pálido, com estratificação cruzada tabular de grande porte e estratificação oblíqua.	Dunas longitudinais e piramidais		Arbustiva
Chêrnier	Areias quartzosas cinza amarelado a cinza muito claro, finas a muito finas, com estrutura mosqueada no topo e cruzada de médio porte na base.	Cordões com cristas irregulares e cordões com cristas alongadas, limitadas por manguezais.	Inundado somente no período chuvoso	Arbustiva
Praia	Areia quartzosas finas, com fragmentos de conchas, cinza muito claro, com estratificação plano-paralela.	Extensas áreas planas, inclinadas 2° rumo ao mar, recortadas por sistema de calha e crista.	Inundado regularmente pela maré semidiurna	

2.3. VEGETAÇÃO

A comunidade vegetal do manguezal é diferente de qualquer outro ecossistema, pois as condições adversas e peculiares do ambiente condicionam o aparecimento de apenas algumas poucas espécies o que lhe confere uma paisagem uniforme, dada a repetição de forma.

Fisionomicamente, a formação vegetal do manguezal, apresenta ora um aspecto arbustivo, ora arbóreo, constituído principalmente de plantas lenhosas.

Essas plantas possuem adaptações ao meio, que lhes permite a sobrevivência. Dentre essas adaptações, encontramos: a habilidade de extrair água doce da água do mar, órgãos especiais para a excreção de sal, pneumatóforos e associação simbiótica de micróbios com as raízes que permite a respiração da planta, ajudam também na sustentação da árvore em substratos movediços e "capturam" sementes que flutuam na água salgada.

As principais arbóreas encontradas no manguezal de Bragança são *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*, apresentando também *Montrichardia arborescens*, *Acrostichum aureum* e *Crinum ondulatum*.

A área do Pântano Salino é dominada por árvores de *Avicennia germinans*, com altura máxima de aproximadamente 2 metros e plântulas da mesma espécie.

A seguir são apresentadas a descrição, distribuição e sistemática das espécies consideradas *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*:

2.3.1. *Rhizophora mangle*

Distribuição:

O mangue vermelho encontra-se em franjas em contato com o mar, ao longo de canais, na boca de alguns rios e também em bacias interiores onde a salinidade não é muito alta. Este gênero tolera salinidade de 55 ppm e cresce melhor onde a salinidade é próxima a do mar ou um pouco a baixo. Distingue-se facilmente pelas suas raízes de sustentação, que permitem que as árvores se estabeleçam em ambientes com água salgada ou salobra de pouca profundidade.

Descrição breve:

Árvore de copa arredondada que cresce de 5-8 metros, sistema radicular muito ramificado, distribuído radialmente, originando-se principalmente ao longo do caule ou dos ramos caulinares (raízes escoras).

Sistemática: *dicotyledonea*

Ordem: *Myrtiflorae*

Família: *Rhizophoraceae*

Tribo: *Rhizophoraceae*

Gênero: *Rhizophora*

Espécie: *Rhizophora mangle*, Linnaeus

Sinonímia: *Rhizophora americana*, Nutt.

Rhizophora racemosa, GFW.

Sinonímia vulgar: mangue, mangue vermelho, mangue verdadeiro, mangue de sapateiro, mangue de pendão, quapanaíba, apareíba.

2.3.2. *Avicennia germinans*

Distribuição:

A *Avicennia* é uma das três espécies de árvores de mangue que ocupam terrenos ao nível do mar, em águas salgadas, ao longo das margens lamacentas próximas ao mar. Tolerância alta salinidade no solo, muito mais altas que as demais espécies de mangue, até 90 ppm.

Descrição breve:

Árvore com 6-12 metros de altura, copa cônica nas plantas em desenvolvimento (assemelham-se a pinheiros), alongadas nas plantas velhas, sistema radicular com disposição radiada horizontal ramificado, suas raízes são de dois tipos: umas penetram no substrato com uma porção aérea (pneumatóforos), e as outras, muito ramificadas, horizontais, extremamente esponjosas e fibrosas interiormente (raízes nutritivas), ficam apenas submersas.

Sistemática: *Dicotyledonea*

Ordem: *Tubiflorae*

Família: *Verbenaceae*

Tribu: *Avicennieae*

Gênero: *Avicennia*

Espécie: *Avicennia germinans* (A. nitida, Jacq.)

Sinonímia: *Avicennia shaueriana* Stapf & Leechman
Avicennia tormentosa, Jacq

Sinonímia vulgar: siriba, siriúba, mangue branco, mangue amarelo, guaperu

2.3.3. *Laguncularia racemosa*, Gaertn

Distribuição:

Comumente conhecido como mangue branco, encontra-se em costas com baixa salinidade, e às vezes ao longo de canais de água salobra. Também se encontram nos bordos de praias arenosas de costas de baixa energia, sozinha ou misturada com outras árvores.

Laguncularia tolera salinidade no solo um pouco mais altas que *Rhizophora*, mais apresenta competitividade mais efetiva em áreas de reduzida salinidade.

Descrição breve:

Árvore com 4-8 metros de altura, com aspecto ora arbutivo, ora arborecente, as ramificações caulinares, podem ocorrer próximas ou distantes do solo, sistema radicular subterrâneo, pouco profundo, não possui raízes aéreas, possuem expansões das raízes nutritivas, que são estruturas para respiração (pneumatóforos). Estes órgãos não são muito numerosos e nem alcançam grandes elevações, não tolera locais com grandes flutuações no nível da água.

Sistemática: *Dicotyledonea*

Ordem: *Myrtiflorae*

Família: *Cobretaceae*

Tribo: *Terminalieae*

Gênero: *Laguncularia*

Espécie: *Laguncularia racemosa*, Gaertn

Sinonímia: *Conocarpus racemosa*, Linn. Et Jaq

Laguncularia glabriflora, Presl.

Sinonímia vulgar: mangue rasteiro, canapomba, canapaúba, siriba, cereiba, mangue branco e tinjí.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - METAIS PESADOS EM SEDIMENTO E EM PLANTAS DE MANGUEZAL

A acumulação de metais pesados em sedimentos pode ser função das condições químicas e físicas como o tamanho das partículas, a concentração e tipo de matéria orgânica, salinidade, pH e potencial redox (Förstner and Salomons, 1984). As plantas de manguezal são capazes de modificar o sedimento adjacente às suas raízes, principalmente em ambientes anóxicos enriquecidos em fitotoxinas como o Fe^{+2} (Otte *et al.*, 1993). Segundo Ponamperuma, (1972); Amstrog, (1978); Chiu e Chou, (1991) e Lacerda *et al.*, (1993), essas plantas translocam oxigênio através de sua aeroxima e o liberam pelas suas raízes criando uma rizosfera oxidada. Este mecanismo afeta a especiação de metais pesados em sedimentos de manguezal e pode resultar em uma mobilização pós-deposicional e mudanças na biodisponibilidade de metais pesados depositados (Lacerda *et al.*, 1993). Engler e Patrick, (1975), demonstraram que os sulfetos: FeS, ZnS e CuS, em sedimentos reduzidos, anaeróbicos, oxidam a zona adjacente das raízes das plantas, e concluíram que o grau de absorção das plantas é diretamente proporcional a solubilidade dos sulfetos. Segundo Ross (1994), as raízes das plantas e árvores podem causar mudanças nas condições do solo, influenciando a biodisponibilidade de metais e conseqüentemente sua absorção. O oxigênio liberado pelas raízes freqüentemente excede a demanda dos tecidos das raízes, resultando na perda radial de oxigênio para a rizosfera (Otte, 1991).

As plantas de manguezal possuem uma relação simbiótica com as micorrizas (fungos filamentosos associados com as raízes) que aumenta a adsorção de metais, o que se explica pelo fato dessas micorrizas tornarem maior a superfície de contato das raízes com a solução do solo (Brown & Hall, 1990). A condição reduzida dos sedimentos do mangue favorece a precipitação de metais e sua imobilização como sulfetos. O Fe e o Mn adsorvidos nas raízes precipitam como óxidos formando placas de Fe que por sua vez adsorvem Zn (Otte *et al.*, 1987).

Otte *et al.*, (1987) e Mendelsshon & Postek (1982) estudaram a formação, morfologia e composição dessas placas de ferro em plantas de Pântano Salino, e mostraram sua eficiência como barreiras biogeoquímicas para a absorção de metais traços por células das raízes dessas plantas. Silva *et al.*, (1990) analisaram essas placas de ferro nas raízes de *Spartina alterniflora* e notaram que grande parte dos metais presentes nas raízes foram fixados nas placas de ferro depositadas no cótex externo da raiz, mais que no tecido interno da raiz. St-cyr & Crodwer,

(1990), mostraram que o mesmo ocorre em *Avicennia germinans* e Taniaki, (1993), comprovou que *Avicennia schaueriana* age da mesma forma.

Por outro lado, as plantas de mangue podem ser consideradas, em um sentido ecológico mais geral, como espécies oportunistas de sucessão precoce, isto é, são capazes de adaptarem-se, por alterar sua constituição fisiológica, a lugares inóspitos a outras espécies (Odum & Drifmeyer, 1978).

Há muito interesse na flora muitas vezes singular que caracteriza sedimentos contendo metais pesados. Tais locais podem ocorrer naturalmente, como resultado de processos geológicos e da ação das intempéries na formação do solo, ou por poluição antropogênica (Groot *et al.*, 1976). Os metais são fixados em depósitos sedimentares de diversas formas: primeiro em retículos de minerais (geralmente referente aos metais na fase residual); segundo, ocorrem associados à superfície de partículas. Em sedimentos não contaminados, os metais em retículos dos minerais é a forma quantitativamente mais importante (Rae, 1997). Os metais adsorvidos a partículas possuem uma correlação significativa com a granulometria do solo ou sedimento. Por exemplo: cobalto, níquel, cobre e zinco, ocorrem naturalmente em sedimento de intermaré. Essa ocorrência natural ou de background reflete uma combinação da composição das rochas das bacias de drenagem e sedimentos marinhos. Esses metais estão divididos em várias fases nos sedimentos de intermaré e na água do sistema: em solução, na água intersticial, associados ao sedimento, em suspensão ou depositado (Rae, 1997).

A solução do solo é a fonte imediata mais importante de nutrientes para a absorção radicular. Uma solução muito diluída seria rapidamente esgotada não fosse o fato de ser de novo reabastecida através da liberação de elementos por parte da fase sólida do solo. A fase sólida do solo libera nutrientes à solução pela solubilização de minerais e da matéria orgânica, pela dissolução de sais pouco solúveis e pela troca iônica, principalmente troca catiônica (Figura 2). Os cátions em solução são trocados livremente com aqueles adsorvidos no complexo sólido de troca (Epstein, 1975).

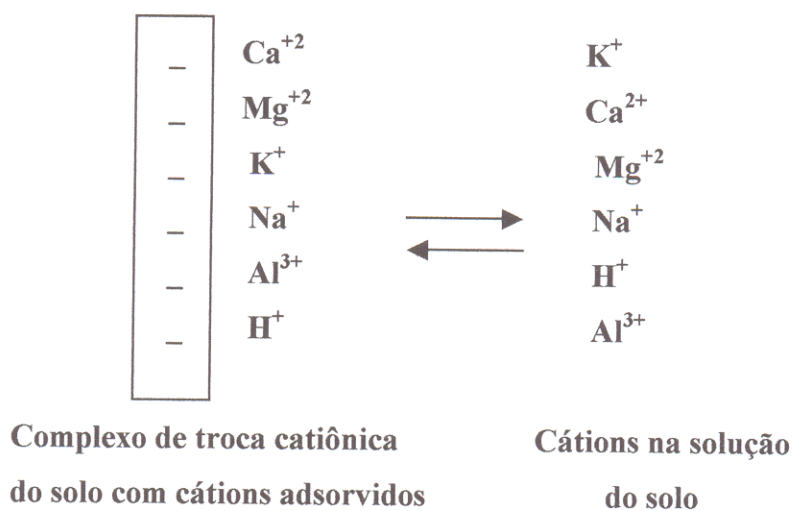


Figura 2 - Representação esquemática da troca catiônica.

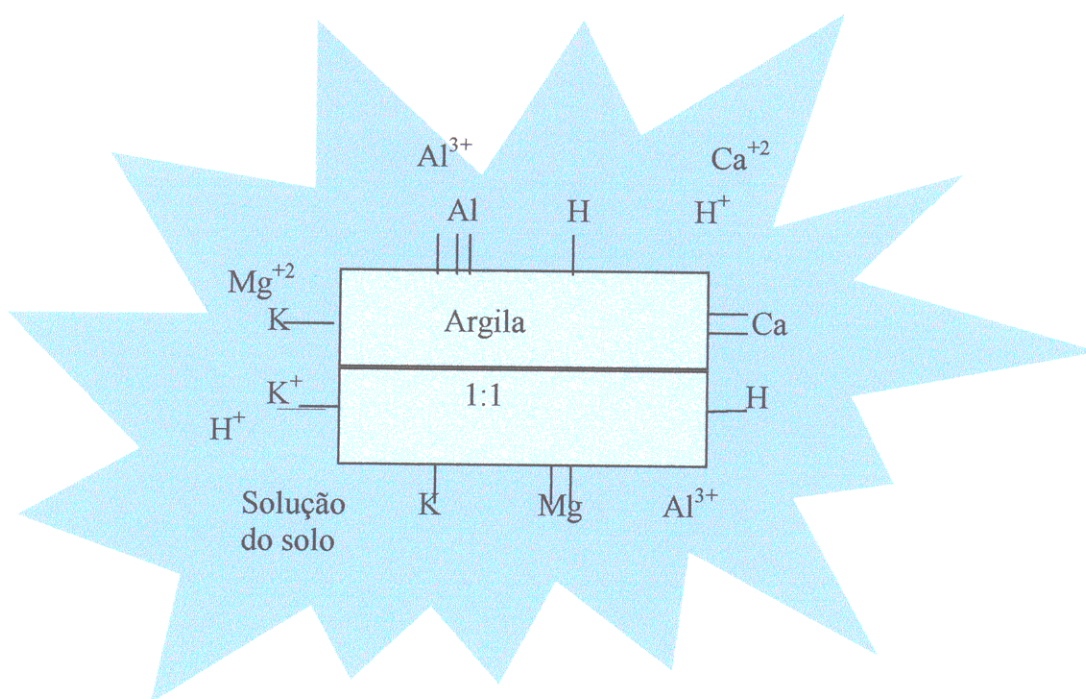


Figura 3 - Argila 1:1 rodeada pela solução do solo e controlando a concentração de íons da mesma.

A troca iônica deve-se também às partículas negativas de argila, que são capazes de atrair cátions, e controlar a concentração de íons na solução (Figura 3).

Para que esses elementos liberados na solução do solo sejam absorvidos pelas raízes é necessário o contato com as mesmas. Segundo Malavolta (1980) esse contato pode ser de 3 formas (Figura 4):

- interceptação radicular : encontro da raiz absorvente com o íon disponível;
- fluxo de massa: a medida que as raízes absorvem a solução do solo, estabelece-se um gradiente de tensão da água no terreno e a solução se move para a superfície da raiz. Os elementos dissolvidos são então carregados pela água por fluxo de massa;
- difusão: é o movimento do íon em uma fase aquosa estacionária, a distâncias curtas.

O contato entre as raízes das plantas e a solução do solo cria um ambiente químico nos sedimentos ao seu redor diferente do ambiente dos sedimentos sem vegetação, essas diferenças químicas que se concentram ao redor das raízes das plantas, variam de acordo com a espécie de planta. Segundo Lacerda *et al.* (1988) esse ambiente químico alterado pode variar com a capacidade fisiológica e biogeoquímica que cada árvore possui de acumular e degradar matéria orgânica de formas diferentes.

Locais que apresentam metais pesados são em geral tóxicos à maioria das plantas. Suas sementes chegando a esses locais morrem como consequência das condições desfavoráveis. Entretanto, a variabilidade genética existente na população das plantas selvagens é tal que ocasionalmente podem existir indivíduos capazes de resistir as condições adversas. Algumas plantas apresentam mudanças na sua constituição física e fisiológica que as tornam capazes de crescer em tais lugares onde há uma menor competição de outras plantas que não conseguem adaptar-se ao lugar (Epstain, 1975).

Estudos realizados por Tuner (1976) mostraram que as plantas que vivem nesses ambientes contém concentrações de metais que seriam fatais para outras plantas. Yim & Tam (1999) testaram o crescimento de plantas em soluções separadas, cada uma contendo apenas um dos metais pesados, e verificou que as plantas de um habitat com alto teor de um metal pesado e a ele tolerante não eram necessariamente tolerantes a outros. Yim & Tam (1999) concluíram que as plantas tolerantes sintetizam compostos quelantes que complexam com íons de metais pesados tornando-os inócuos. Se essa hipótese estiver correta, isto significa que deve existir inúmeros

agentes de complexação, cada um específico para um metal diferente e com menor afinidade química pelos outros.

Quando essas plantas são expostas a ambientes com metais pesados pode ocorrer a adaptação das funções celulares mediante a exposição a metais ou interações entre íons metálicos e sites metabólicos específico dentro da célula. O genótipo de tolerância a stress, quando testado, altera o impacto nas funções celulares tornando-as resistentes a presença de metais no ambiente, através de modificações nos vários processos fisiológicos e bioquímicos (Cumming & Tomsett, 1999).

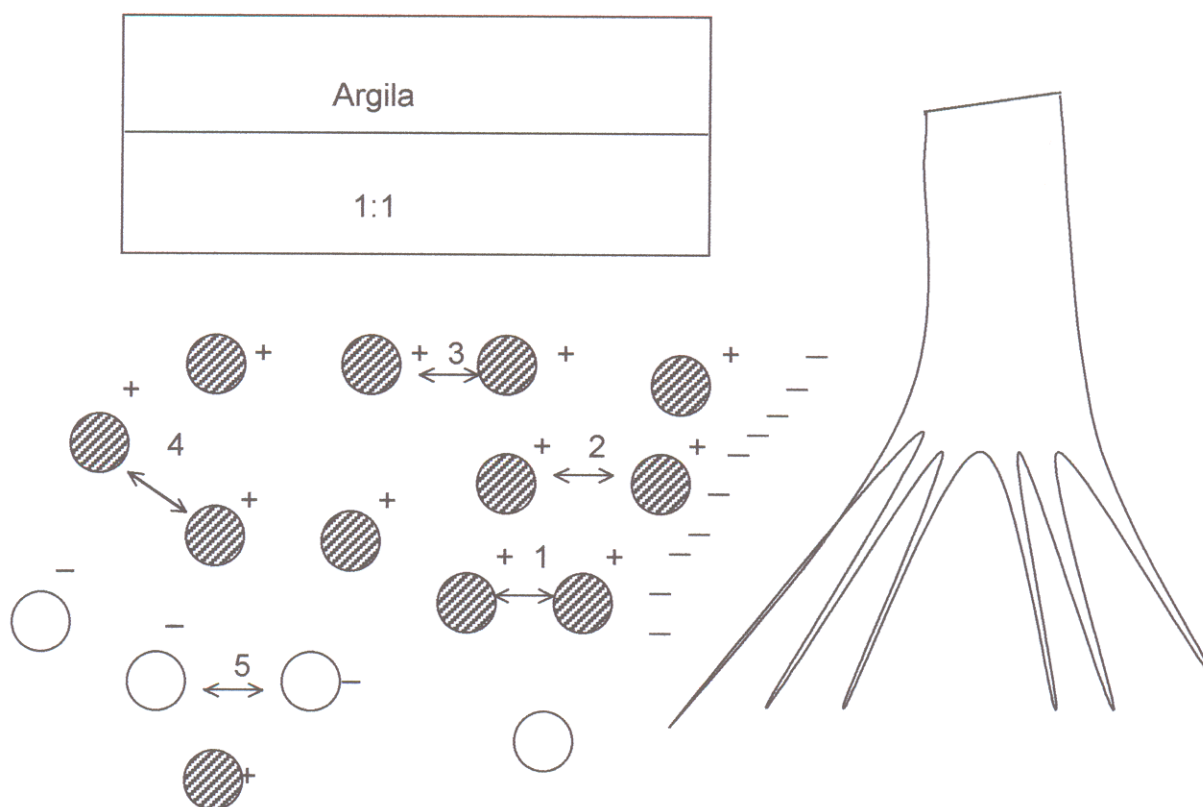


Figura 4 - Representação esquemática de alguns processo de contato do elemento com a raiz: 1- difusão na solução, 2-difusão da partícula para a raiz, 3- difusão na partícula, 4- reposição, 5- fluxo de massa.

3.2 - SALINIDADE

O sal restringe o crescimento de plantas em grandes áreas do globo mais do que faz qualquer outra substância inibidora encontrada no meio ambiente (Malavolta, 1980). A vegetação natural dos habitats salinos é freqüentemente esparsa e possui adaptações especiais necessárias a sua sobrevivência. Por causa de sua tolerância ao sal, essas plantas são chamadas halófitas (plantas salinas).

As condições salinas apresentam duas ameaças fisiológicas distintas para as plantas:

1. os baixos potenciais osmóticos das soluções salinas fazem com que as plantas expostas a esse meio tenham potenciais osmóticos intracelulares ainda mais baixos. Langerwerff (1969) e MacNulty (1969) acreditam que as células das plantas, acumulando e conservando altas concentrações intracelulares de soluto, mantém potenciais internos de água suficientemente mais baixos do que os do meio externo para efetuar um ajustamento osmótico e daí impedir a seca fisiológica. Estudos de Kramer (1976) mostram evidências de que altas concentrações de sal causam uma diminuição na permeabilidade das raízes em relação a água e, portanto, uma diminuição na velocidade de entrada da água na planta. Essa resistência hidráulica pode ocasionar um deficit de água na planta, mesmo quando esta faz um ajustamento no potencial osmótico. Isso significa que as plantas devem manter um potencial osmótico menor do que o do meio;
2. nutrição - as altas concentrações iônicas potencialmente tóxicas inibem a nutrição. Quando se refere a salinidade, sabe-se que o íon em maior concentração provavelmente será o Na^+ . Quanto maior a porcentagem de sódio entre os cátions trocáveis, menores serão os sítios de troca ocupados por cálcio, magnésio e potássio.

Segundo Piggot (1969), outros fatores dificultam o crescimento das plantas, por exemplo: a concentração de nutrientes essenciais pode ser baixa, a aeração pode ser restrita e a troca gasosa fotossintética pode ser limitada, principalmente em zonas de marés durante os períodos em que as plantas estão submersas.

Outro fator osmótico discutido por Bingham *et al.*, (1968) é a capacidade limitada da célula foliar para acumular sal. O sal é absorvido pelas raízes e se move na planta por meio da cor-

rente transpiratória para o exterior da folha. Quando a água se evapora, a concentração no exterior da folha pode tornar-se grande o suficiente para a formação de cristais de sal nas suas folhas.

A maioria das halófitas absorve sódio do meio, transloca-o para as folhas e tolera as altas concentrações que aí se acumulam (Black, 1956). Nos meio salinos a relação do sódio para o potássio é tipicamente alta; na água do mar por exemplo, é de 40 para 1, podendo ser ainda maior nos solos salinos. Segundo Epstein (1975) as folhas de *Avicennia germinans* absorvem potássio, em regiões com alta salinidade.

Diferente das plantas sensíveis ao sal as halófitas são capazes de tolerar as altas concentrações de íons minerais que se acumulam em seus tecidos. Esse mecanismo de tolerância ao sal é desconhecido. Os sais podem destruir a estrutura das enzimas e de outras acromoléculas (Warren & Cheatum, 1966), danificar organelas (Blumenthal – Goldschmidt & Poljakoff-Mayber, 1968), afetar a fotossíntese e a respiração (Boyer, 1965). Certas halófitas tem glândulas salinas nas suas folhas que excretam sal para sua superfície de onde é, eventualmente, removido pelo vento ou pela água. Outra adaptação é a hipertrofia das folhas que causam diluição da solução salina intracelular.

As plantas nativas das áreas salinas devem ser adaptadas para qualquer situação adversa que esses habitats possam ter em comum com os outros e, adicionalmente, para a condição singular da salinidade combinada com a ameaça de retirada osmótica de água e com a toxidez pelo sódio e de outros íons presentes em altas concentrações.

O crescimento e a sobrevivência das plantas na natureza depende de sua habilidade de resposta às condições ambientais prevaletentes. Os processos fisiológicos e bioquímicos levam a manutenção ou recuperação da homeostase celular da célula estressada formando um genótipo de tolerância ao stress. Isso ocorre como resposta da planta a um estressor.

3.3 - MACRONUTRIENTES E SÓDIO

Os macronutrientes provém das rochas e dos minerais que formam o solo. Minerais primários como feldspato, mica, hornblenda e augita, formados à medida que o magma fundido esfriou, contém pequenas quantidades disponíveis desses nutrientes. À medida que os minerais primários se desintegram, formam-se minerais secundários como argilas silicatadas, calcita, apatita e gesso, que contêm pequena quantidade de nutrientes.

Os minerais servem de reserva de nutrientes, que na forma de compostos solúveis, são facilmente assimiláveis pelos vegetais superiores. Os processos químicos e biológicos, transformam os nutrientes complexos dos minerais em formas simples, podendo também ocorrer o inverso: elementos disponíveis podem ser adsorvidos pelos minerais em forma insolúvel e indisponível. Os nutrientes possuem características próprias de absorção e adsorção o que torna suas reações no solo específicas para cada elemento. No entanto, existem alguns princípios gerais que regulam as reações no solo de certos cátions como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e NH_4^+ . As reações no sedimento podem ser influenciadas pela entrada sazonal de matéria orgânica do ciclo de crescimento das plantas de pântano, e pela produção sazonal de ligantes orgânicos pelas plantas na água intersticial. Os ligantes orgânicos podem regular o ciclo sedimentar do ferro.

Para entender a maneira com que os cátions macronutrientes tornam-se assimiláveis pelos vegetais em crescimento é necessário saber se a composição inorgânica genérica dos solos minerais contém tais elementos. Embora essa composição varie consideravelmente de um solo para outro, suas propriedades físicas e químicas se enquadram, na sua maioria, em três tipos básicos de componentes:

- (1) uma estrutura sólida que inclui, além de pequenos montantes de macronutrientes essenciais, quantidades muito maiores de silício, oxigênio, alumínio e ferro nos casos de materiais inorgânicos, bem como carbono, hidrogênio e oxigênio, nos casos de materiais orgânicos. Essa estrutura retém os elementos essenciais, na sua maioria, sob formas relativamente indisponíveis, inclui ainda minerais primários graúdos como feldspato, mica e quartzo, juntamente com partículas orgânicas e partículas mais finas de argila e humus;
- (2) uma agregação de cátions associados retidos na superfície das partículas de argila e humus por cargas negativas que caracterizam esses colóides. Os cátions assim retidos não dispõem de massa tão significativa quanto os cátions da estrutura sólida, dominam porém as propriedades químicas dos solos quanto ao suprimento de elementos essenciais aos vegetais;
- (3) cátions na solução do solo que se acham disponíveis para absorção vegetal ou para lixiviação do solo.

Os vegetais absorvem cátions da solução do solo e das superfícies coloidais. Assim, a estrutura sólida é, na realidade, um reservatório de nutrientes para uso futuro, a longo prazo.

Os cátions da solução do solo estão sujeitos não só a captação pelos vegetais mas também à lixiviação do solo. Esses cátions da solução do solo podem ser trocados por cátions adsorvidos nas superfícies coloidais, como acontece com os íons H^+ no ácido carbônico (H_2CO_3), formado por CO_2 e água do solo, que pode ser trocado por Ca^{2+} adsorvido na superfície coloidal.

Óxidos e argilo-minerais também alteram e tem parte nas reações de especiação e absorção de metais. Podem também ocorrer interações diretas e indiretas entre os elementos e o mineral. As interações diretas podem ser a oxidação das espécies de elementos traços por óxidos, ou uma reação catalítica na superfície do cristal argiloso. As interações indiretas podem ocorrer nos minerais por meio de bactérias. As atividades biológicas controlam boa parte dos processos geoquímicos da biosfera, inclusive a especiação metálica.

Experiências laboratoriais comprovam que óxidos de Fe e Mn podem oxidar elementos traços abióticos. A importância dessas reações em sedimentos e em ambientes aquáticos é que essas transformações químicas são geralmente controladas por micro organismos. O óxido de Mn pode oxidar muitos outros metais, inclusive Pb, Ni e Co.

Argilo-minerais, óxidos e ácidos húmicos nos sedimentos são de vital importância na nutrição das plantas e para outros organismos por muitas razões. Dentre elas, ligam metais traços essenciais, reversivelmente, acumulam metais não-residuais e os metais adsorvidos superficialmente tornam-se biodisponíveis.

A biodisponibilidade da ligação colóide-elementos traços varia com a natureza do colóide e as condições externas. Os seguintes exemplos de observações empíricas ilustram a grande variedade de efeitos possíveis: (1) Cu em solos compostos principalmente de minerais está muito mais disponível para plantas que o Cu em solo de turfa; (2) o Zn adsorvido em caolinita ou ilita é muito mais útil para plantas que o Zn adsorvido em esmectita; (3) a disponibilidade de ligações argilo-Zn em brotos de tomate foi determinada como decrescente na ordem caolinita>esmectita>ilita>vermiculita, e a adição de $CaCO_3$ aumenta essa disponibilidade embora a alcalinidade conduz a adsorção, e não a desorção e (4) a adsorção de Cu e outros metais pesados pelo óxido de Mn precipitado, que sofre uma redução em sua superfície, pode aumentar a liberdade de Mn em solução, promovendo assim o uptake de Mn em plantas.

Esta ligação colóide-elementos traços não impede que os organismos retirem metais pesados do ambiente, os colóides podem até mesmo servir como fontes de metais para absorção biológica. Alguns organismos extraem metais de colóides pela alteração do ambiente químico deles,

causando solubilização dos metais. Os micróbios das raízes de plantas rizóforas tornam disponíveis os cátions de metal nos colóides do sedimento por liberar íons de H^+ , que são absorvidos pelas raízes.

3.4 - MANGUEZAIS NO BRASIL

3.4.1 - Histórico

O Brasil possui a maior cobertura de manguezais do mundo, que se estende por 6.800 km do litoral. De 4°30'N até 28°30'S ocorrem vários manguezais diferentes entre si. Embora no Brasil só existam quatro espécies arbóreas, com sete variedades, os manguezais que elas compõem variam muito (Schaeffer-Novelli & Cintron, 1990).

Os manguezais são áreas de grande importância no Brasil, sendo mais extensamente utilizados que os manguezais da África e da América Central. As áreas de floresta ocupam uma longa porção da costa brasileira, desde o Amapá ao norte até Santa Catarina ao sul e constituem uma unidade ecológica de suma importância para as zonas costeiras.

Os manguezais, em geral, desenvolvem-se melhor quando há oscilação da maré em decorrência da topografia, quando há formação de grandes correntes de água doce, dos rios ou da chuva, quando há grande quantidade de nutrientes e condições de sedimentação apropriadas. Sob essas condições o mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) pode alcançar altura de até 40 metros (Frois-Abreu, 1939; Damasio, 1980). Entretanto, se as condições de sedimentação se modificam a altura da mata reduz bastante. No sul do Brasil, no limite dos manguezais, a altura das árvores de *Rhizophora* em condições naturais é pouco maior que 1,5 metros. No Rio Ponta Grossa (28°30'), *Avicennia* e *Laguncularia* crescem no máximo 9 e 2 metros de altura, respectivamente (Schaeffer-Novelli & Cintron, 1986).

O fator luz, junto com a exposição às marés e a salinidade da água intersticial, são fatores de grande importância. Enquanto diferentes estudos chamam a atenção para a falta de condições favoráveis de luz, devido a copa das árvores ser bastante densa, no caso de reflorestamento o problema é o contrário; a luz incide diretamente sobre a vegetação em crescimento, o que dificulta o desenvolvimento da floresta.

Em consequência disso, no norte, o replantio deve começar no primeiro semestre (no período das chuvas), para que as plantas jovens e sensíveis ultrapassem rapidamente seu tamanho

crítico e tornem-se adultas e resistentes às condições ambientais desfavoráveis. A distribuição natural de propágulos depende principalmente da sua proximidade de plantas adultas férteis e de sua dispersão pelos canais de drenagem.

Os manguezais são áreas com bastantes recursos naturais, que se utilizados de forma racional proporcionam diversas culturas, como por exemplo a do arroz. A criação de áreas costeiras protegidas, visando sua conservação, é uma forma de proteger esse ecossistema. Preservar o ecossistema possibilita o desenvolvimento sustentável das zonas costeiras. Como exemplo dos benefícios econômicos dos manguezais brasileiros, há um pequeno manguezal de aproximadamente 4.370 ha no estuário do rio Paraíba, no Piauí, que sustenta mais de 10.000 pessoas com peixes e caranguejos.

A alta produtividade primária do manguezal explica a relevância de seu papel na cadeia trófica: são áreas privilegiadas de reserva ecológica, berçário, meio nutritivo, centro de multiplicação de numerosas espécies animais e vegetais. Dentre essas espécies, várias são destacadas pelo homem como excelentes alimentos. O mexilhão (*Mytella* sp.), também conhecido como Sururu, é um dos animais que assume importância econômica nas comunidades de Bragança (Blancard & Glaser, 1999). Em Bragança pesca artesanal é, provavelmente, a mais importante atividade econômica nos sistemas de manguezais em escala comercial. Existem várias técnicas de pesca na região, as mais comuns são : pesca de arrasto manual, espinhel, currais e rede de espera. Pesquisa realizada na área registrou a ocorrência de 54 espécies diferentes de peixes (Costa *et al.*, 1999) A tiragem de caranguejo (*Ucides cordatus*) também é de grande valor econômico, devido ao seu tamanho (cerca de 9 cm) e ao valor nutritivo. Cerca de 42% dos moradores sobrevive desse trabalho (Diele, 1999). As árvores de manguezal são usadas como matéria prima na fabricação de canoas e como combustível em padarias.

Os manguezais brasileiros são muito mais explorados que os da Ásia ou América Central. No Brasil, principalmente nos estados do sudeste, as áreas de manguezais foram sujeitas a intenso desenvolvimento industrial. Áreas urbanas, aeroportos, portos e shopping centers ocupam espaço que antes era de manguezal. O difícil acesso e a baixa densidade populacional são as principais razões pelas quais os manguezais dos estados do Amapá, Pará e Maranhão permanecem na grande maioria intactos. O baixo custo da eletricidade e grande abundância desse recurso no Brasil é uma outra razão porque as florestas de mangue não são muito cortadas para combustível como acontece no oeste da África.

3.4.2 - Manguezais ao longo da costa brasileira

- Extensão e distribuição

Há diferentes estimativas da área de abrangência dos manguezais no Brasil. O Brasil é o país do mundo com a mais extensa cobertura de floresta de manguezais, com 2,5 milhões de hectares, comparado com a Indonésia que possui 2,1 milhões de hectares.

- Caracterização

Oitenta e cinco por cento dos manguezais brasileiros ocorrem ao longo dos 1.800 km da costa do Amapá, Pará e Maranhão, especialmente entre Belém no Pará e São Luís no Maranhão. O estado do Maranhão com 500 mil ha de manguezais, abrange aproximadamente a metade da área total de manguezais no Brasil. O Maranhão é o estado com a mais extensa e estruturalmente complexa floresta de manguezal.

Ao longo da costa norte do Brasil, o extenso sistema de manguezais reflete as características hidrológicas e topográficas das áreas costeiras. As marés semidiurnas chegam a atingir em alguns lugares cerca de 8 metros. Como as costas geralmente consistem de extensas planícies do Quaternário, essas áreas são inundadas durante as grandes marés e durante a estação chuvosa. Ao longo da costa norte do Maranhão a precipitação excede 2.000 mm por ano, sendo este o principal fator de crescimento e de produção do mais espetacular sistema de manguezal do Brasil. Como resultado da grande amplitude de maré e alta precipitação, os sistemas de manguezais estendem-se por mais de 40 km das margens dos rios e estuários do Pará e Maranhão.

No norte, as árvores de *Avicennia* são bem desenvolvidas e ocorrem com maior frequência. As árvores medem mais de 1 metro de diâmetro e cerca de 40 a 45 metros de altura. As árvores de *Rhizophora* ocorrem apenas nas costas mais protegidas. *Spartina alterniflora* se desenvolve na orla das marés ao longo da costa norte, e *Hibiscus tiliaceus* tipicamente domina as margens terrestres dos manguezais.

Os manguezais no estuário do Amazonas são diferentes dos outros manguezais do Brasil, devido a sua típica quantidade de água doce na floresta. As florestas são bem desenvolvidas, as árvores de manguezais nesta área têm uma distribuição relativamente restrita devido a grande taxa de entrada de água doce e a competição com as macrófitas de água doce.

No nordeste, os manguezais tem menor porte que os da costa norte. *Rhizophora mangle* é a mais notável vegetação e atingem de 10 a 20 metros de altura. Na parte interna das baías com altas quantidade de água doce e onde o clima é úmido, os manguezais podem ser bem extensos. Na costa sudeste do Rio de Janeiro até Santa Catarina se estendem por 1.250 Km e contém apenas 5% da área total de manguezal no país.

- Árvores

Os manguezais brasileiros são compostos predominantemente por árvores do gênero *Rhizophora* (*Rhizophoraceae*) com três espécies, do gênero *Avicennia* (*Avicenniaceae*) com duas espécies e do gênero *Laguncularia* (*Combretaceae*) com apenas uma espécie.

Rhizophora mangle é a mais desenvolvida das espécies do manguezal e ocorre em nas costas tropicais e subtropicais do Brasil onde os manguezais são encontrados (Schaeffer-Novelli, & Cintron, 1986). Dependendo das condições ambientais, como topografia, latitude, regime de maré, clima, volume de água doce e quantidade de nutrientes, *Rhizophora mangle* chega a atingir 25 metros de altura. Em clima quente e árido, essa espécie cresce apenas como árvores anãs com menos de 1 metro de altura (Prance *et al.* 1986). *Rhizophora racemosa* e *Rhizophora harrisonii* tem a menor distribuição e a suporta menor variação climática. Elas são encontradas na costa norte úmida, onde geralmente alcançam alturas superiores a 20 metros.

- Estrutura e ecologia

Os ambientes deposicionais tropicais ao longo de costas com baixa energia de ondas são mais freqüentemente colonizados por árvores e arbustos tolerantes ao sal. No Brasil e em muitos outros lugares desenvolvem-se esses ambientes úmidos que sofrem ampla descarga de rios. Constituem-se especialmente em deltas, ao longo de plataformas, golfos, estuários e lagoas. Nos locais onde a altura das marés é maior, como no caso do norte do Brasil, da costa do Amapá ao sul do Maranhão (variação de maré de 3 a 6 metros e marés de sizígia de 4 a 8 metros), os manguezais tornam-se particularmente extensos devido à inundação regular das marés de águas marinhas salobras e também à inundação fluvial. Em geral os manguezais são divididos em manguezais verdadeiros, de menores elementos e associados (Tomlinson, 1980).

Os manguezais verdadeiros são compostos de espécies florísticas tolerantes ao sal, taxonomicamente diferentes das espécies terrestres, que adaptam-se facilmente colonizando e dominando os ambientes costeiros. Os manguezais de menores elementos ocupam os habitats periféricos e raramente formam comunidades dominantes (Cintrón & Schaeffer - Novelli, 1983). Os manguezais associados são aqueles invadidos por plantas tanto de ambientes de água doce como de ambientes hipersalinos (Cintrón & Schaeffer - Novelli, 1983).

Os mangues do Pará são diferentes dos outros mangue do mundo: as plantas tipicamente de mangue algumas vezes dividem espaço com plantas amazônicas dos ambientes de várzea.

A distribuição dos manguezais é limitada pela baixa temperatura, hiper-salinidade, alta energia de ondas e ausência de água doce. A distribuição das espécies de planta ao longo da costa brasileira é diretamente influenciada pela temperatura. Os manguezais no Brasil encontram-se na região costeira. A presença de temperaturas mais elevadas devido as correntes de águas aquecidas brasileiras no sul torna a região costeira ideal ao crescimento de manguezais.

Os manguezais em muitas partes dos mundo estão sujeitos a queimadas e muitas vezes a tempestades tropicais destrutivas, mas os manguezais brasileiros não estão sujeitos a estas tempestades. O principal problema dos manguezais no Brasil são as ameaças de queimada para criar pastos e a devastação da floresta pelo uso inadequado de suas riquezas naturais.

4 - METODOLOGIA

4.1 - METODOLOGIA DE CAMPO

Foram realizadas campanhas de campo no início e no fim das estações seca e chuvosa no período de um ano na área do manguezal de Pântano Salino e suas transições para área Desmatada de um lado e para o bosque de *Avicennia* anã para outro, nas profundidades de 10 a 200 cm, sendo que as campanhas foram realizadas nos meses de novembro de 1998, julho e dezembro de 1999.

Foram coletadas amostras de sedimento, raízes, folhas, galhos e hastes da espécie *Avicennia germinans*. Na amostragem de sedimento nas áreas FA (Fazenda) e AV (*Avicennia*) foram feitas duas amostragens, uma de 50 cm próxima a pista, do qual foram feitas coletas nos 10 cm iniciais e nos 50 cm finais, e outra a 50m da pista com profundidade de 2 metros, com resolução de 50 cm; nas áreas PS (Pântano Salino) e CA (Campo) foram feitas amostragens na profundidade de 50 cm, na área DE (Desmatada) a profundidade foi de 2 metros, com resolução de 50 cm. As coletas foram feitas com um tubo de PVC previamente limpo. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, lacradas, e mantidas resfriadas em gelo até posterior análise. A amostragem de material vegetal foi feita nas áreas PS e AV, sendo que em cada área foram coletadas duas amostras a cada campanha, que foram acondicionadas em sacos plásticos e lacradas da mesma forma que para os sedimentos.

4.2 - METODOLOGIA DE LABORATÓRIO

4.2.1 - Físico-químicos (umidade, matéria orgânica, salinidade e pH)

A umidade é determinada pela pesagem da amostra antes e depois de seca em estufa a 105°C durante 24 horas. Posteriormente a mesma amostra é calcinada a 450°C por 8 horas em forno-mufla, para determinação do peso da matéria orgânica (Figura 5). Para determinação de pH e salinidade se usa o seguinte procedimento: 20g de sedimento são pesados e dissolvidos em 100 mL de água deionizada. A solução é deixada em repouso para que ocorra a precipitação. Depois em uma alíquota dessa solução são determinados o pH e salinidade, essa por cálculo a partir da condutividade (Figura 6).

4.2.2 – Determinação dos argilos-minerais

Para a determinação dos argilos-minerais por difração de raios-X em lâminas orientadas, a amostra foi dissolvida em 150 mL de água destilada e adicionados 50 mL de peróxido de hidrogênio (30 v). Essa solução é centrifugada até separação da fração silte, permanecendo a argila a ser usada em lâminas orientadas.

4.2.3 - Análise de Infravermelho

Inicialmente a amostra foi pulverizada e homogeneizada em graal de ágata e levada à estufa a 50°C, durante 12 horas para eliminar a umidade, e depois levada ao dissecador para resfriar.

A pastilha obtida é colocada no feixe do espectrômetro de infravermelho para registrar o espectro e assim ser feita a determinação dos radicais químicos ligados as substâncias orgânicas do solo (OH^- , S^- , COOH , etc.).

4.2.4 - Determinação dos metais pesados

- Sedimento

As amostras de sedimento foram secas em estufa a 80°C, por 24 horas e desagregadas em graal de ágata. Após isso foram deixadas em solução de HCl 0,1N durante 16 horas, a temperatura ambiente, e depois filtradas em filtro de papel Wathmann nº42, para que a fração de metais

não-residuais fosse extraída e separada. As concentrações de metais residuais foram determinadas no sedimento retido no filtro, após digestão em uma mistura ácida de H_2O_2 30% + HCl_{conc} + $\text{HNO}_3_{\text{conc}}$ + $\text{HClO}_4_{\text{conc}}$ (3:3:1:1 v/v), seca em banho de areia a 90°C e redissolvida em HCl 0,1 N e diluída para posterior análise (Figura 7).

- Plantas

O material vegetal foi seco em estufa a 60°C até peso constante. Depois triturado em um graal de ágata. Uma alíquota de 0,3 a 0,5g aproximadamente, foi colocada em becker previamente limpo com solução ácida e água tridestilada. Posteriormente a cada becker foram adicionadas aproximadamente 3mL de uma mistura ácida de HNO_3 - HClO_4 , 1:1, e estes colocados em banho de areia com temperatura entre 150 e 170°C até completa digestão da amostra. Finalmente a solução resultante foi diluída a 10mL com água destilada (Figura 8). Os metais foram determinados por espectrometria de absorção atômica.

4.2.5 - Determinação de Macronutrientes e sódio na água intersticial

Foram pesados 20g da amostra e adicionados 100mL de água destilada, mantidos em agitação constante em aparelho de microondas, até que a amostra fosse completamente desagregada (Figura 9). K, Mg, Ca e Na foram determinados por espectrometria de absorção atômica.

4.2.6 – Granulometria

Foram pesados 50g da amostra e adicionados 400mL de água destilada e 50mL de peróxido de hidrogênio por 24 horas, após isso foram lavadas com água destilada, até que todo o peróxido fosse retirado, depois as amostras foram mantidas em agitação constante em aparelho de ultrassom, até que completa desagregação. Depois de desagregadas as amostras foram peneiradas, via úmida, em peneiras de 0,062 mm. O retido na peneira é areia, que depois de seca foi pesada para cálculo de porcentagem. O que passou na peneira é silte e argila, que por centrifugação (2 minutos a 1000 rpm) separam-se, o material que fica em suspensão é argila, que depois de seca, calcula-se sua porcentagem, o silte é o precipitado que também é seco e pesado.

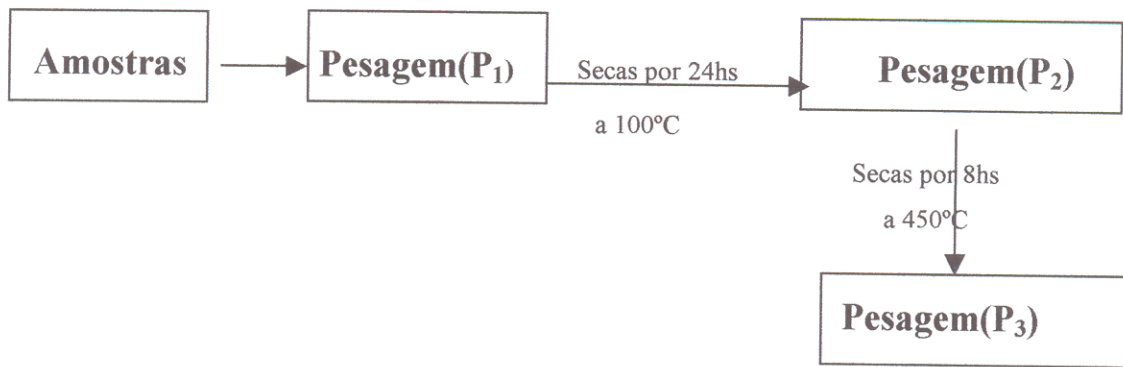


Figura 5 - Esquema de determinação de umidade e matéria orgânica

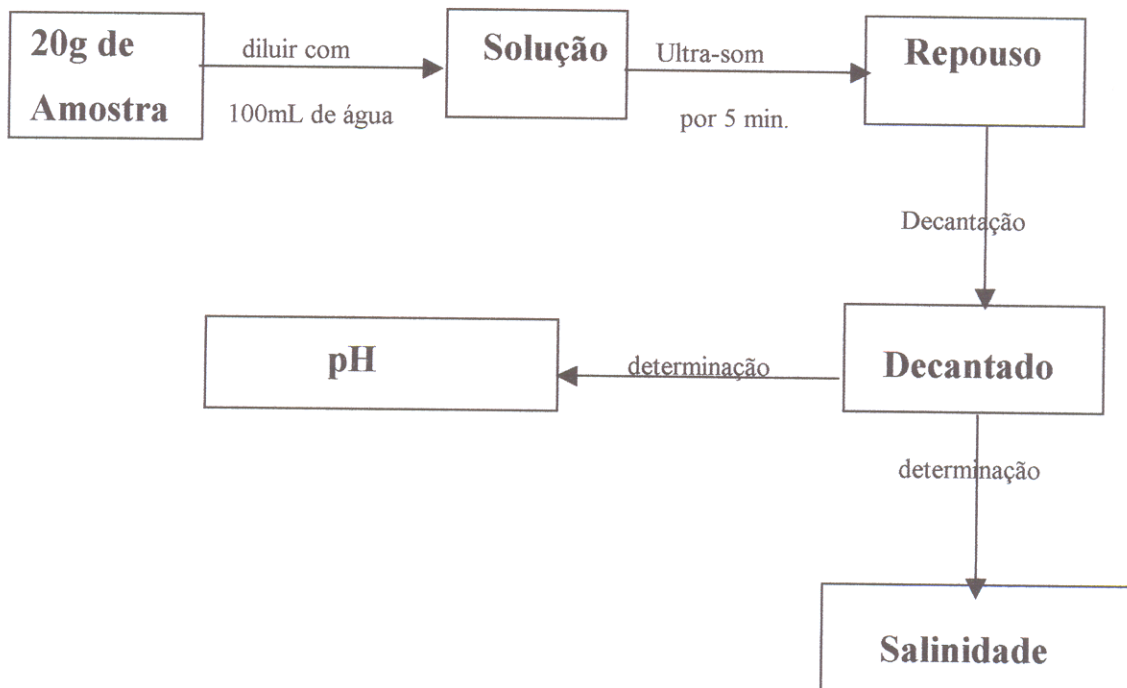


Figura 6 - Esquema de determinação de pH e salinidade.

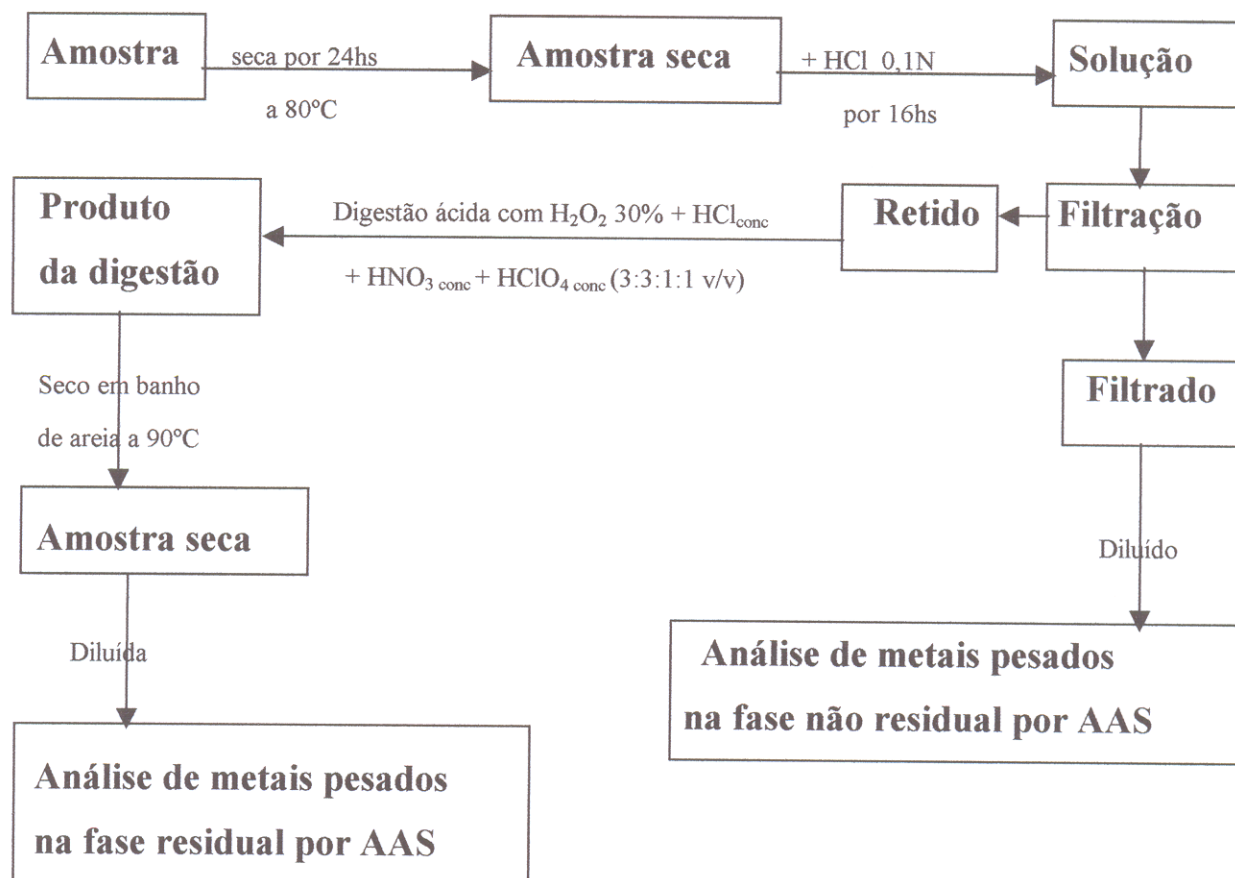


Figura 7 - Esquema de extração seqüencial de metais pesados na fase residual e não-residual.

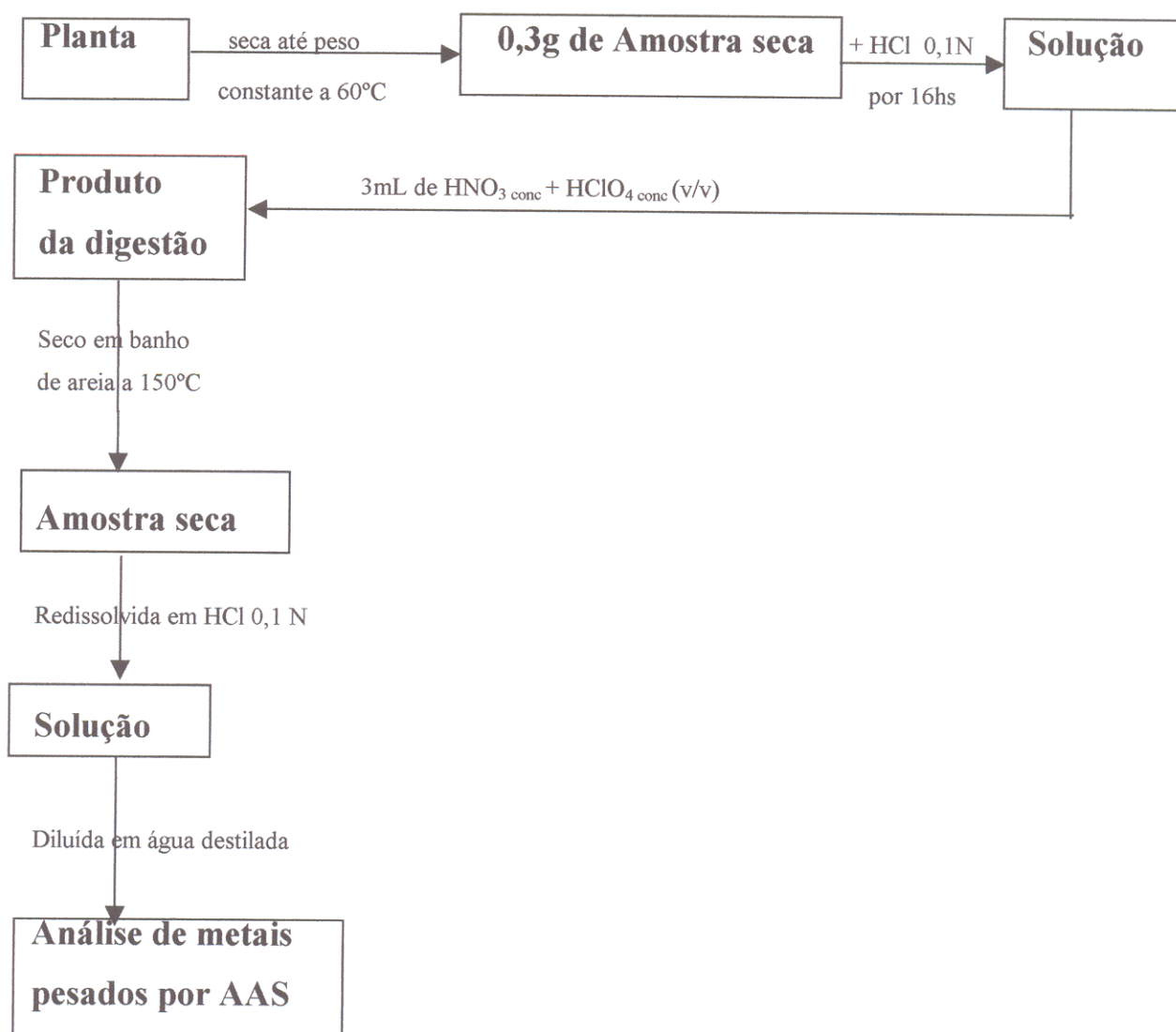


Figura 8 - Esquema de extração de metais pesados em plantas.

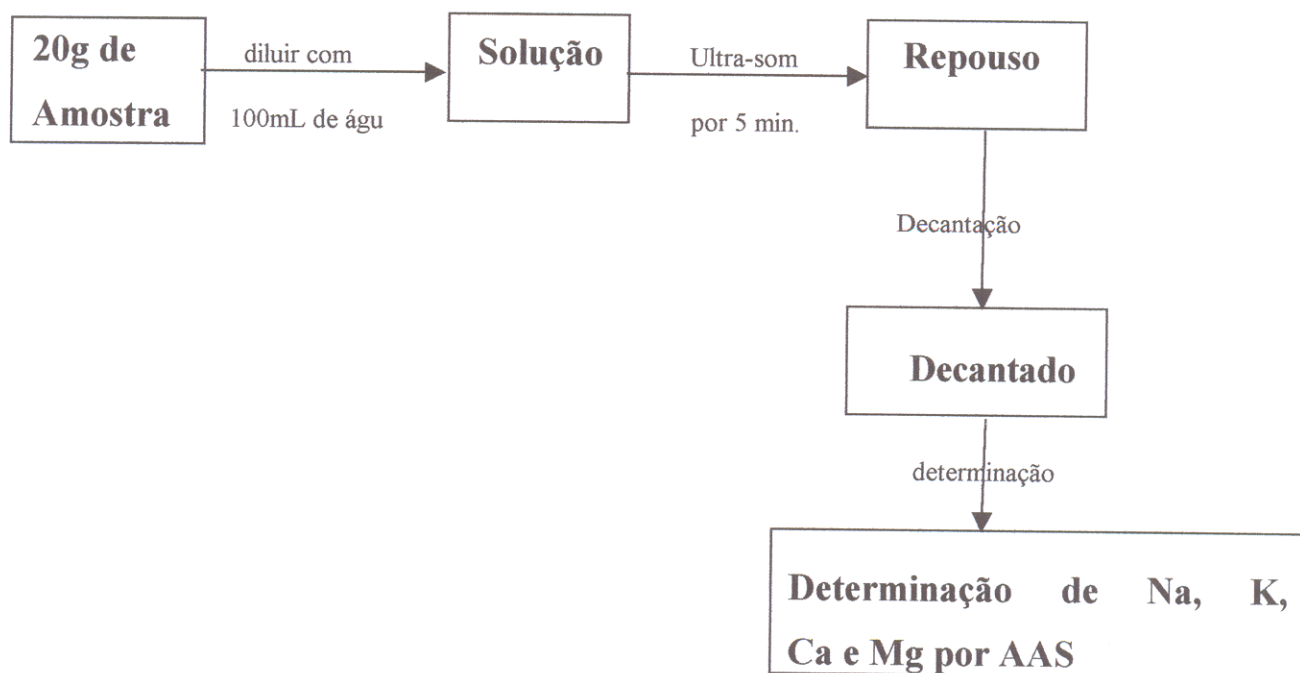


Figura 9 - Esquema de determinação de Ca, K, Na e Mg.

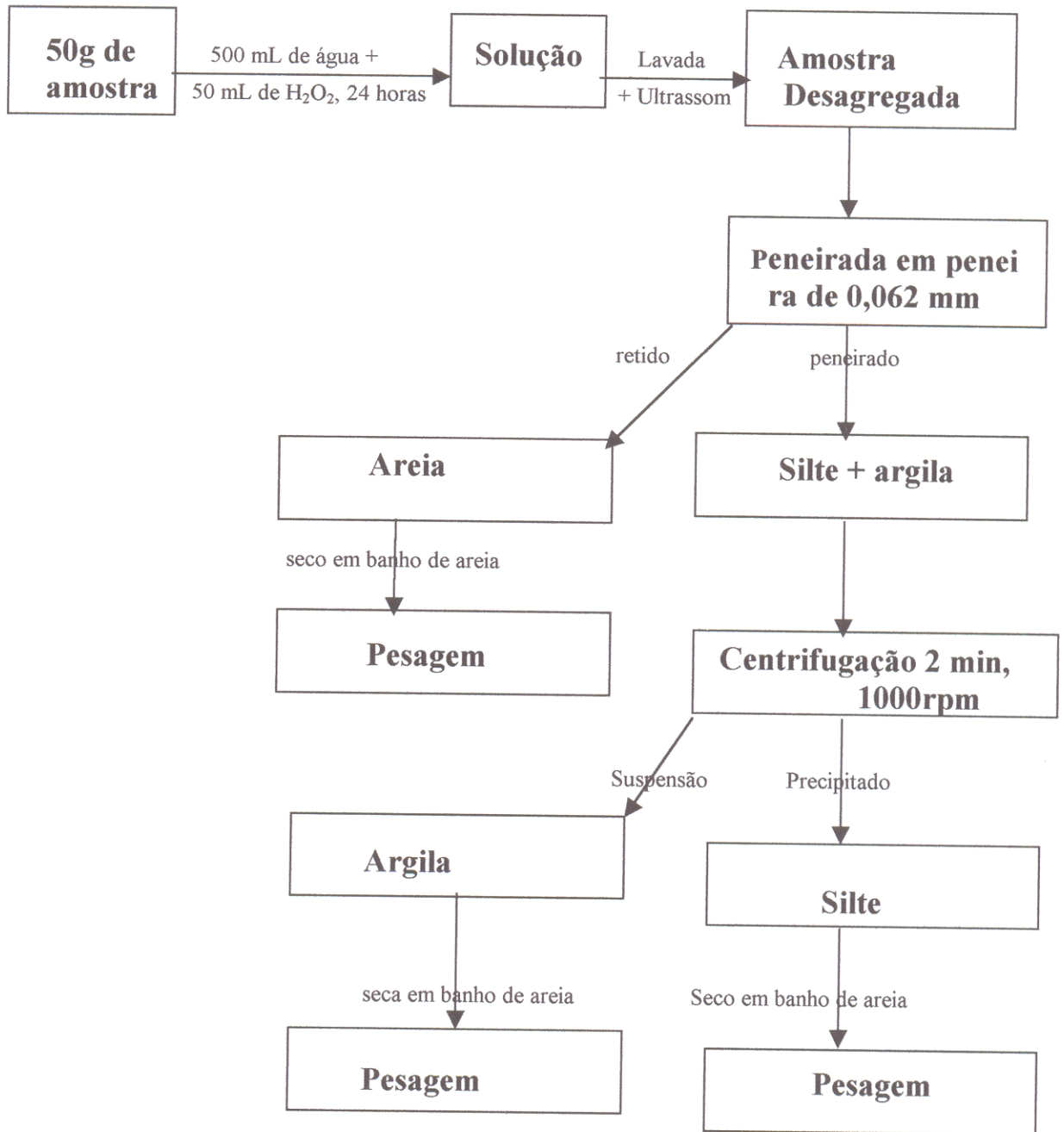


Figura 10 - Esquema de determinação da granulometria.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X

Nas análises difratométricas de raios-X das amostras, pode-se perceber que os minerais encontrados, em todas as áreas (Desmatada, Pântano Salino, Avicennia anã, Campo e Fazenda), foram os mesmos nos sedimentos em lâminas orientadas nas profundidades de 10 e 50cm. Identificou-se a composição dos sedimentos, que são compostos de minerais de quartzo, halita e das frações argilosas.

Nos difratogramas a esmectita apresenta picos largos e de aparência difusa, sendo de maior intensidade aquele correspondente à sua reflexão basal (001), entre 15,4 Å e 15,5 Å. Em amostras normais, essa reflexão é deslocada para 17 a 18 Å. Após tratamento com etilenoglicol (EG), depois de aquecimento ela desloca-se de 17 a 18 Å para 10 Å e passa a coincidir com o pico de reflexão da ilita.

Para a determinação da caulinita são suficientes as reflexões em 7 Å (001), 3,57 Å (002) e 2,37 Å (003), que são estáveis sob glicolação e desaparecem após o aquecimento das lâminas orientadas a 550°C/24h, devido a desidroxilação do mineral.

A identificação da ilita nos difratogramas ocorreu a partir da definição das reflexões basais em 10 Å (001), 5 Å (002) e 3,33 Å (003), esta última, em alguns casos, coincidindo com a reflexão do quartzo. Quando submetidas ao tratamento de solvatação com etilenoglicol, essas reflexões tornaram-se levemente mais agudas e características, o mesmo acontecendo sob o tratamento térmico. A maioria dos picos da ilita são assimétricos e o ápice da reflexão permanece em 10 Å. Esse comportamento é característico do caráter “aberto” ou degradado da ilita.

5.2 – ESPECTROMETRIA DE INFRAVERMELHO

No espectro do infravermelho das amostras estudadas de todas as áreas, nas profundidades de 10 e 50cm, o único mineral encontrado foi a caulinita, com seus polimorfos dickita e haloisita, além de H₂O e matéria orgânica.

A partir dos espectros padronizados em catálogos foram identificadas as bandas de absorção do grupo hidroxila (-OH), característico do mineral caulinita. O grupo OH mostra vibrações características de estiramento (2900 a 3800 cm⁻¹) e de deformação (900 a 1100 cm⁻¹). As

bandas de estiramento da caulinita são muito bem desenvolvidas, com estiramento entre 3696-3620 cm^{-1} e deformação entre 937-916 cm^{-1} . Observamos na amostras estiramento interno de 3669 e 3652 cm^{-1} e deformação de 913 cm^{-1} .

A caulinita varia em sua ordem de cristalinidade e apresenta os seus polimorfos nacrita, dickita e haloisita, que podem ser distinguidos pela diferença na posição e intensidade relativa do estiramento. O estiramento das bandas OH da dickita é de 3621 cm^{-1} .

A região do espectro entre 750 e 800 cm^{-1} é usada para distinção entre caulinita e haloisita. Duas bandas fracas são encontradas entre 795 e 758 cm^{-1} . Elas apresentam intensidade iguais para caulinita, enquanto que para haloisita esta banda é reduzida para 795 cm^{-1} , com inflexão fraca. Verifica-se a presença de bandas intermediárias com intensidades reduzidas que caracterizam a haloisita.

As ligações O-H apresentam vibrações de absorção numa faixa do espectro geralmente entre 2500 e 3800 cm^{-1} . Essas frequências de estiramento O-H são muito sensíveis ao ambiente cristalquímico pela formação de "pontes de hidrogênio" entre um grupo O-H e outro átomo de oxigênio da vizinhança próxima.

As moléculas isoladas de H_2O apresentam três vibrações internas no estado sólido (gelo): ν_1 - estiramento simétrico (3150 cm^{-1}); ν_2 - deformação simétrica (1640 cm^{-1}); e ν_3 - estiramento anti-simétrico (3150 cm^{-1}). Nas amostras estudadas, as bandas de estiramento de H_2O apresentam-se pouco desenvolvidas, com estiramento simétrico alargado de 3431 cm^{-1} e deformação simétrica 1636 cm^{-1} .

As bandas de absorção do infravermelho correspondentes ao retículo da estrutura silicática do mineral se agrupam em três regiões: 1150- 960 cm^{-1} , 960-550 cm^{-1} e 550- 400 cm^{-1} . As amostras estudadas compreendem a banda de absorção de 1008 cm^{-1} , correspondente ao estiramento anti-simétrico, e 536 cm^{-1} , à deformação anti-simétrica.

5.3 – UMIDADE, MATÉRIA ORGÂNICA E PARÂMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS DOS SEDIMENTOS

5.3.1 - Umidade

As áreas Pântano Salino e Desmatada apresentaram o maior valor médio para umidade (47%), seguidas pelas áreas Avicennia anã (44%), Fazenda (40%) e Campo (39%; Tabela 2).

Das áreas estudadas a do Pântano Salino é a que contém maior quantidade de árvores e maior quantidade de matéria orgânica. As árvores, por meio das raízes, e os caranguejos produzem buracos nos sedimentos que aumentam a taxa de infiltração da água, além do que a matéria orgânica tende a reter água. Confirmando esta relação entre a quantidade de matéria orgânica e a umidade, encontramos uma boa correlação entre elas (Figura 11).

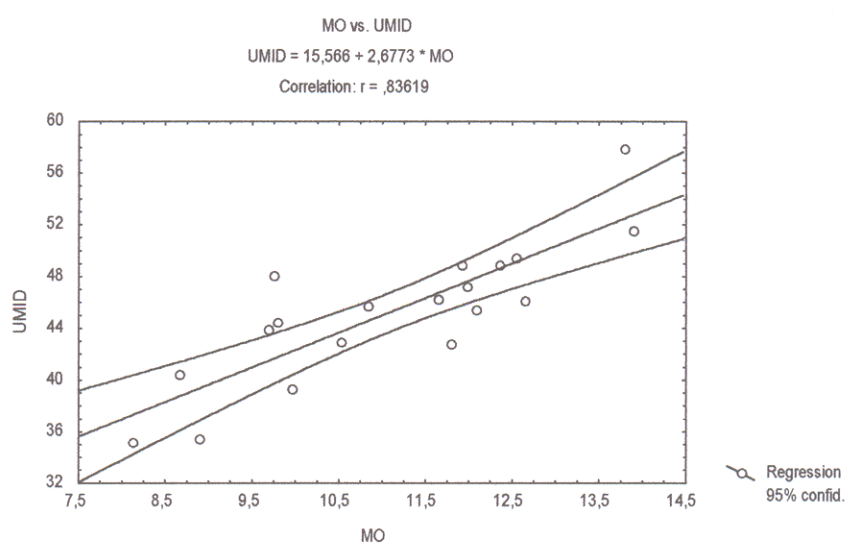


Figura 11 – Gráfico de correlação da umidade com matéria orgânica.

A área Desmatada apresentou durante o período desse estudo uma constante lâmina de água, que se acumula após chuvas fortes (Figura 12). A área Desmatada encontra-se seca apenas em julho, período em que a taxa de evaporação é alta e as chuvas escasseiam, concentrando a solução que ali estava, formando finas placas de cristais de sal sobre o sedimento (Figura 13).

O valor intermediário da umidade na área de Avicennia anã é justificável pelo mesmo processo que ocorre na área de Pântano Salino, apenas com uma pequena diferença: a quantidade de árvores é menor e estas estão em crescimento, possuindo raízes menores. A área de Campo

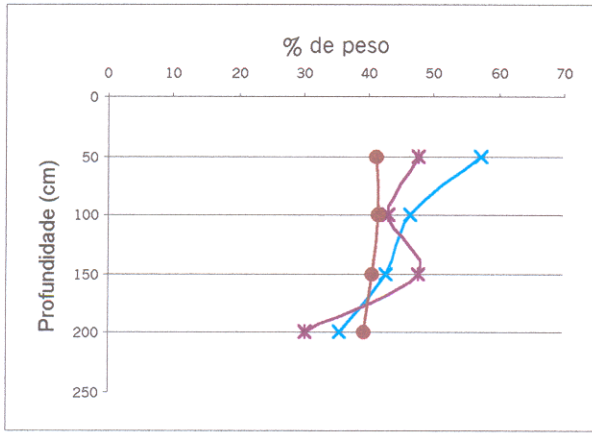
apresenta capim bastante adensado, o que dificulta a entrada da água no sedimento. A área da fazenda, durante o período de coleta de amostras, foi queimada duas vezes, o que parece ter influenciado na diminuição da sua umidade.

O Pântano Salino não apresentou grande variação de umidade com o período de amostragem e com a profundidade. O perfil em toda a profundidade apresenta lama orgânica oxidada, na superfície de coloração cinza médio (0-50cm) e preto acastanhada no resto do perfil (50-200 cm). Esta lama é rica em matéria orgânica (Souza Filho, 1995) que por sua vez retém água.

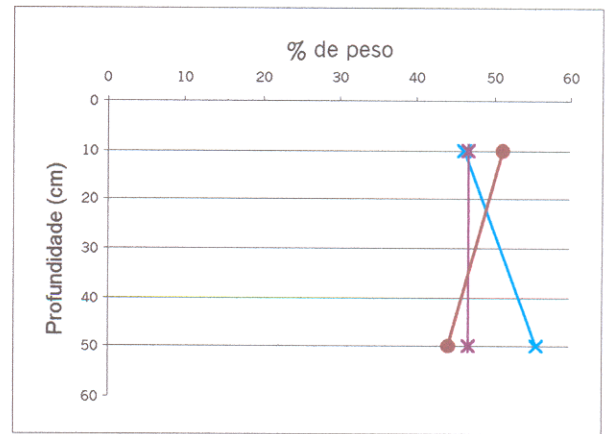
Na área Desmatada, julho de 1999 foi a época do ano que apresentou menor umidade em comparação com os outros meses. As amostras de superfície (0-10 cm) mostraram variação de umidade nos três períodos de amostragem, enquanto que nos 50 cm de profundidade a umidade manteve-se invariável. Uma lâmina superior com cerca de 4 mm apresenta coloração ocre, correspondente a oxidação do ferro. Os seguintes 10 cm apresentam coloração cinza claro, e para baixo o sedimento é gradativamente mais escuro.

Na área Avicennia anã nas três campanhas a umidade foi maior a 50 cm. Em julho de 1999, período com menor quantidade de chuvas, a umidade diminuiu nas profundidades de 150 e 200 cm. Na campanha de novembro de 1998 a umidade apresentou comportamento similar. Esta área possui sedimento superficial de 0 a 50 cm compactado, de coloração cinza claro, com pouca areia (<2%). A compactação dificulta a percolação da água, fazendo com que o sedimento superficial fique por mais tempo em contato com a água, aumentando a umidade apenas superficialmente.

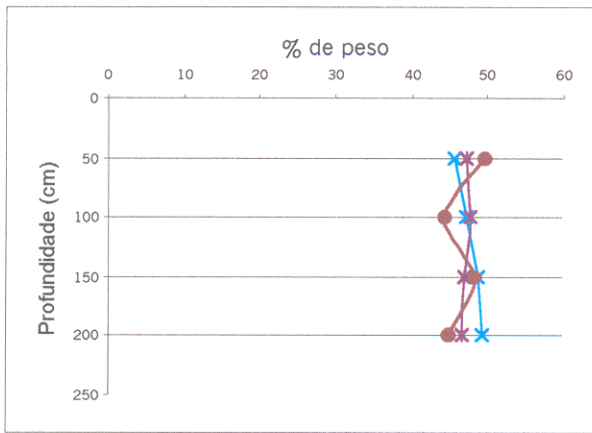
Na área de Campo o capim adensado possui raízes finas que alcançam no máximo 80 cm de profundidade. Essas raízes formam uma malha que envolve o sedimento. Este sedimento torna-se bastante seco, com gretas de contração com até 10 cm de largura e 60 cm de profundidade. Estas gretas facilitam a penetração da água até profundidades maiores (150-200 cm). Na superfície o sedimento é de coloração cinza claro, e com a profundidade torna-se cinza oliva claro. É possível que a cobertura de capim adensado impeça que a água intersticial evapore por ação do sol, e as raízes de capim por serem curtas não absorvem a água de profundidades maiores (> 100 cm). Na área da Fazenda nos períodos de amostragem sempre foi encontrada queimada a cobertura vegetal de capim, motivo porque, possivelmente, a umidade superficial tenha sido sempre muito baixa, ao contrário do ocorrente nas profundidades de 150 a 200 cm, onde a umidade sempre apresenta valores maiores (Figura 14).



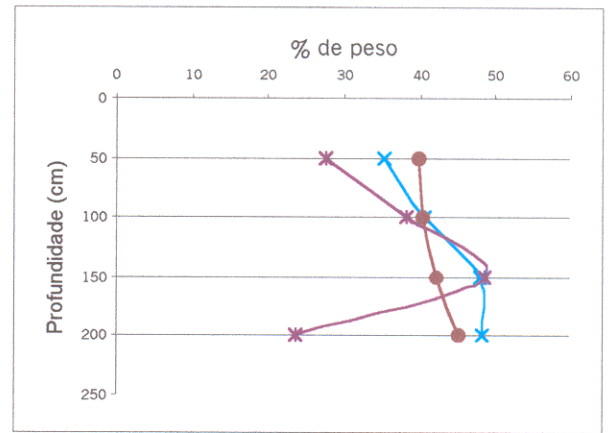
Avicennia 1



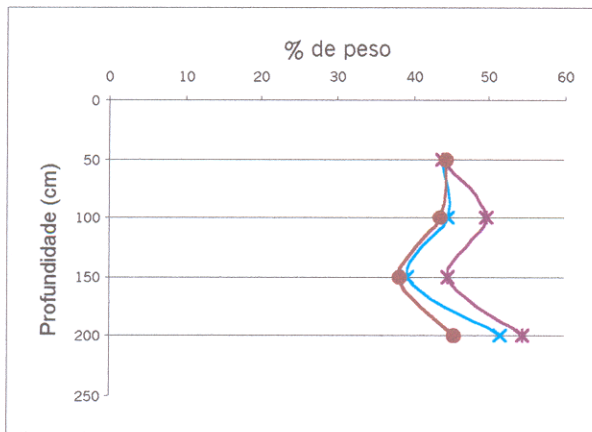
Avicennia 2



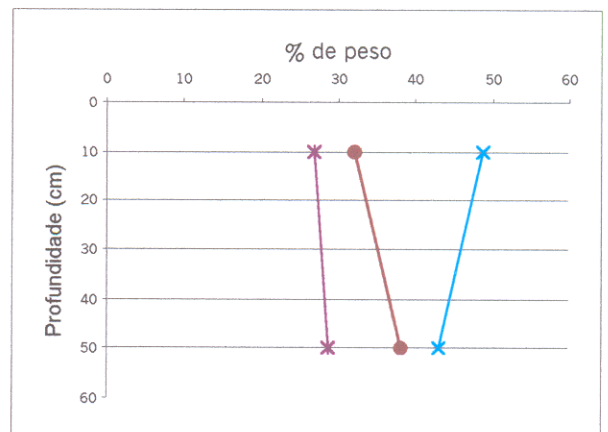
Pântano salino



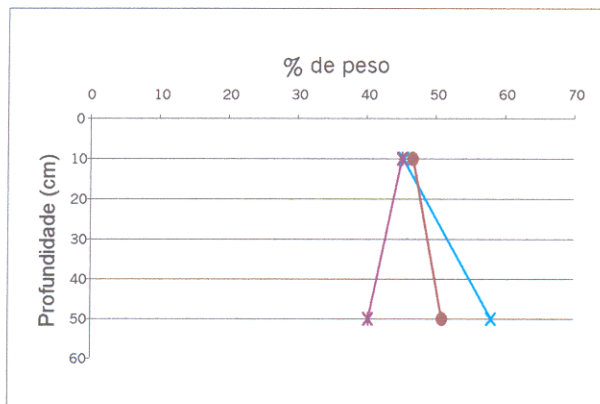
Campo



Fazenda 2



Fazenda 1



Desmatada



Figura 14 - Gráficos de variação de umidade em sedimento.

5.3.2 - Matéria orgânica

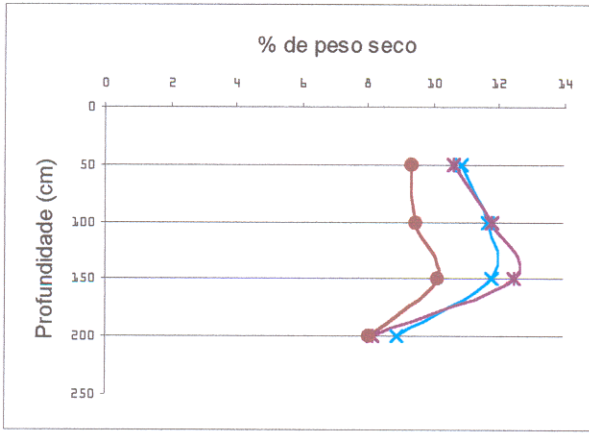
As áreas com maior quantidade de matéria orgânica foram do Pântano Salino e a da *Avicennia Anã*, ambas com 11% (Tabela 2, Figura 15). A composição das folhas de *Avicennia* influencia a quantidade de matéria orgânica do sedimento. Segundo Lacerda *et al.* (1988), o conteúdo de matéria orgânica em sedimentos com *Avicennia* é maior que em sedimentos com *Rhizophora*, porque a liteira da *Avicennia* possui mais matéria degradável. Nas três campanhas, foi observado que a quantidade de matéria orgânica nos sedimentos cresce até 150 cm e diminui de 150 a 200 cm. As raízes de *Avicennia* possuem associados fungos filamentosos que tornam sua área de contato com o sedimento maior. Esses fungos formam uma fina rede de matéria orgânica que acompanha as raízes até aproximadamente 150 cm de profundidade.

A área Desmatada não possui vegetação atualmente, mas apresenta restos de árvores em decomposição, o que explica a sua quantidade de matéria orgânica, além do que ela não é lavada pelo escoamento da água superficial, seja de chuva ou de maré.

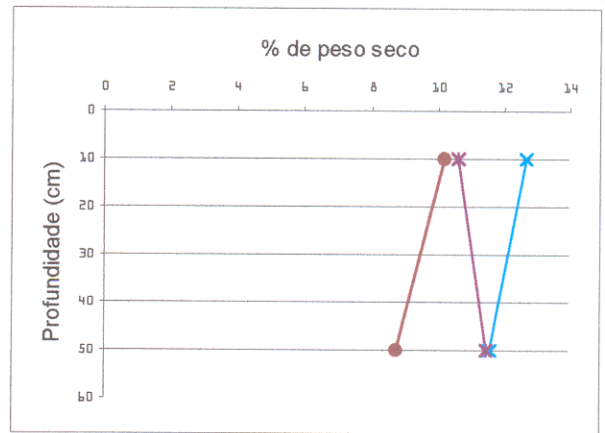
A área da Fazenda foi a que apresentou menor quantidade média de matéria orgânica, por ser constantemente queimada, o que elimina parte da matéria orgânica na origem. Em todas as campanhas nesta área foi verificado aumento da quantidade de matéria orgânica com a profundidade, de 50 a 200 cm, e menor quantidade na superfície (0-50 cm). Na profundidade de 150 a 200 cm ocorre a maior quantidade de matéria orgânica, o que é expresso por uma lama preta acastanhada.

No Pântano Salino, nas campanhas de novembro de 1998 e julho de 1999, a quantidade de matéria orgânica no sedimento mostrou-se similar, diminuindo entre 100 e 150 cm, enquanto em dezembro de 1999 foi menor.

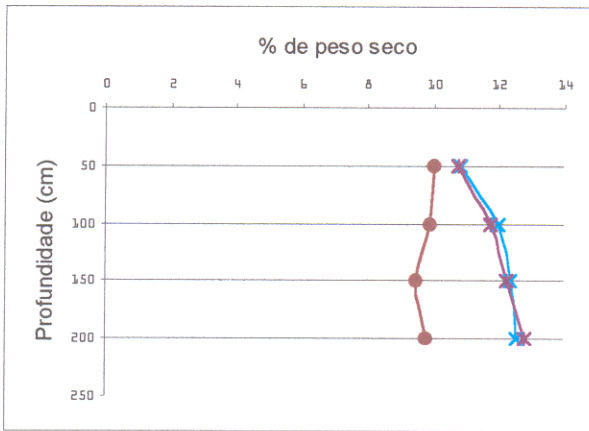
Na área de Campo, nas campanhas de novembro de 1998 e julho de 1999 a quantidade de matéria orgânica teve comportamento similar, aumentando de 50 a 100 cm e diminuindo de 150 a 200 cm. O campo possui capim, o que pode explicar esse aumento até 100cm, devido a suas raízes. Em dezembro de 1999, período em que as chuvas iniciavam, as gretas de contração encheram-se de água, o que pode ter lavado a matéria orgânica.



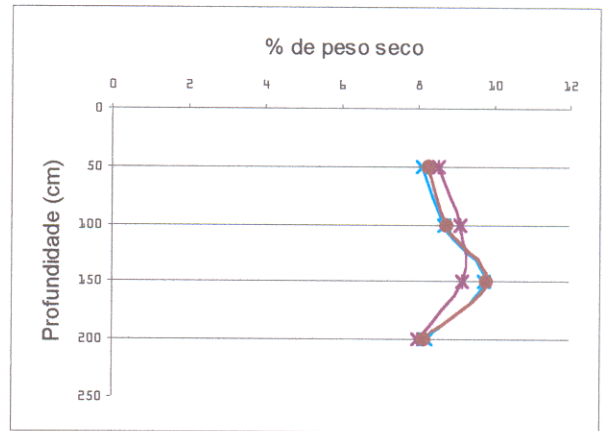
Avicennia 1



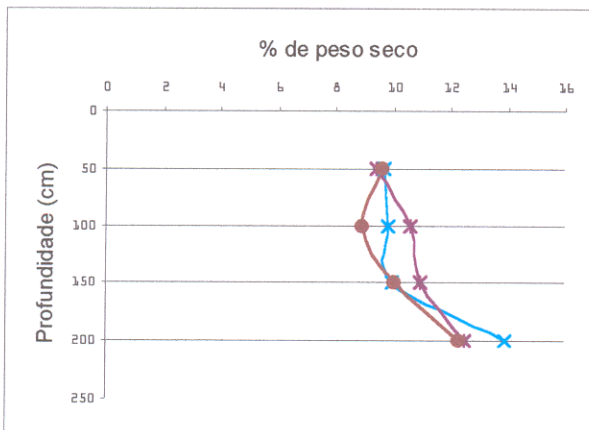
Avicennia 2



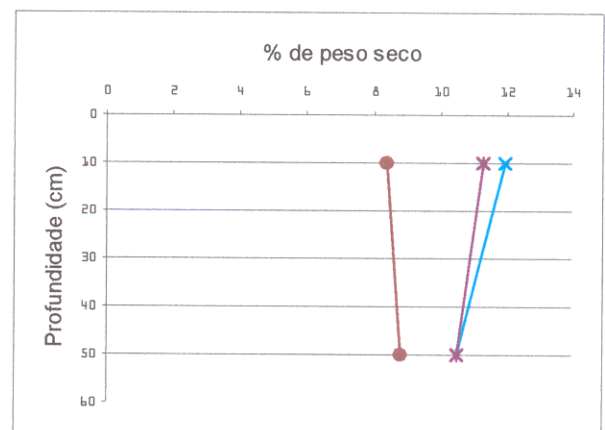
Pântano salino



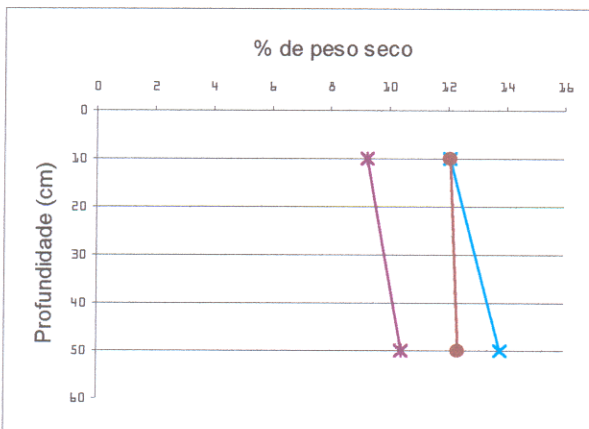
Campo



Fazenda 2



Fazenda 1



Desmatada

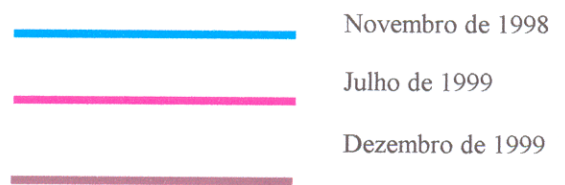


Figura 15 - Gráficos de variação de matéria orgânica em sedimento.

5.3.3 - pH

O pH apresentou correlação considerável com a quantidade de matéria orgânica, devido a formação de ácidos orgânicos e inorgânicos (Figura 16). Alguns desses ácidos inorgânicos são o H_2SO_4 e HNO_3 , potentes supridores de íon hidrogênio para o solo (Liao,1990).

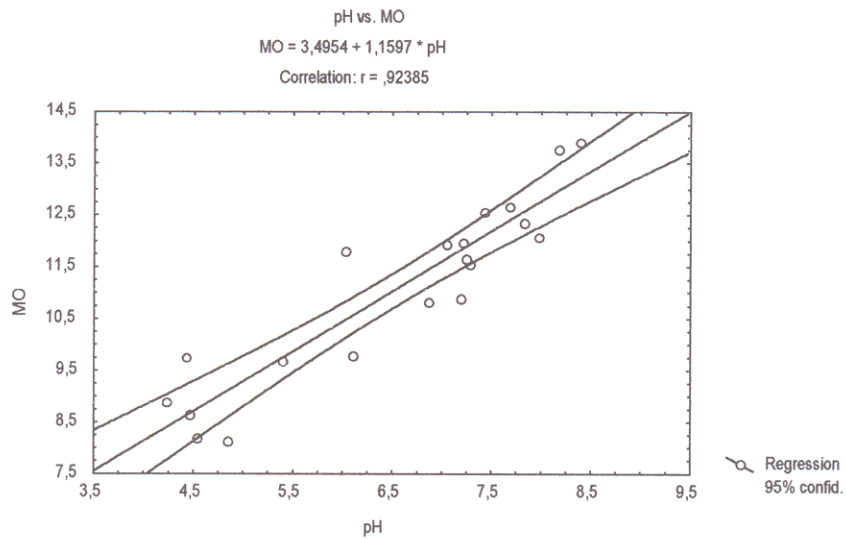


Figura 16 - Gráfico de correlação entre pH e matéria orgânica

Os resultados obtidos apresentaram alta correlação entre salinidade e pH (Figura 17).

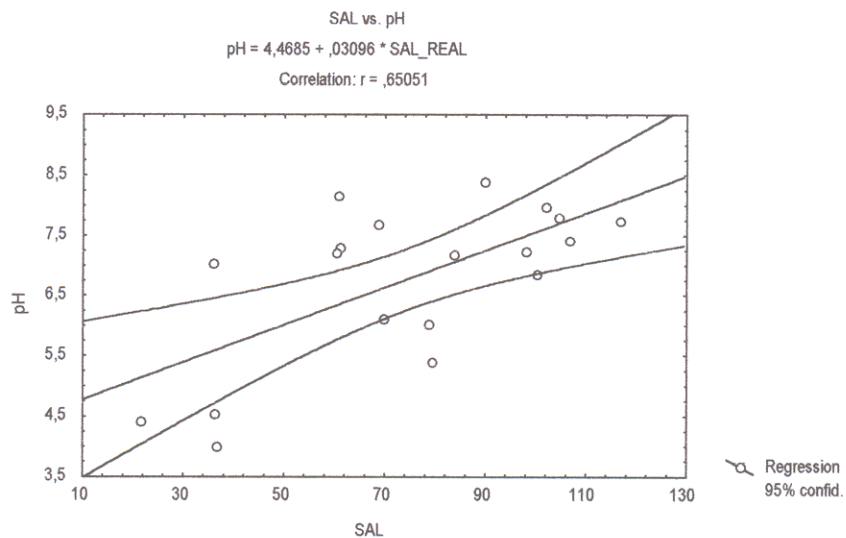
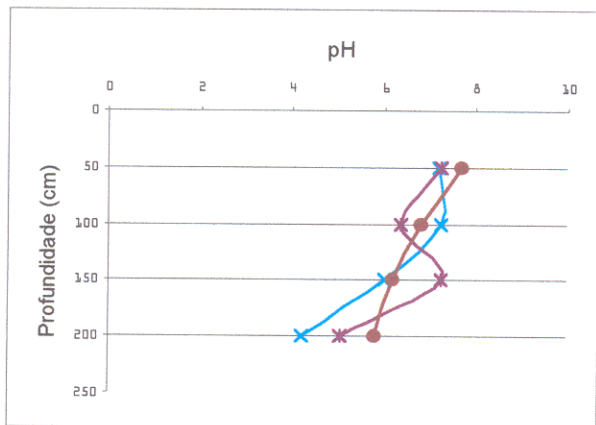


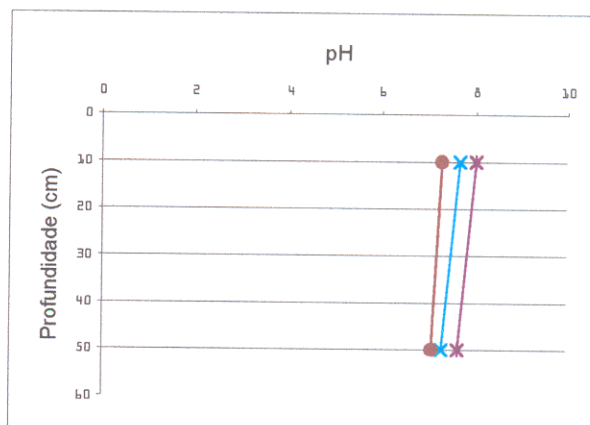
Figura 17 - Gráfico de correlação entre pH e salinidade

O pH tem valor médio de 6,67. A área que apresenta menor valor é a do Campo (5,11), e a de maior valor é a Desmatada (7,98; Tabela 2). O pH ácido em todas as áreas, com exceção da Desmatada, é devido a decomposição microbiana da liteira e a hidrólise do tanino das plantas de mangue que liberam ácidos orgânicos (Liao, 1990; Figura 18).

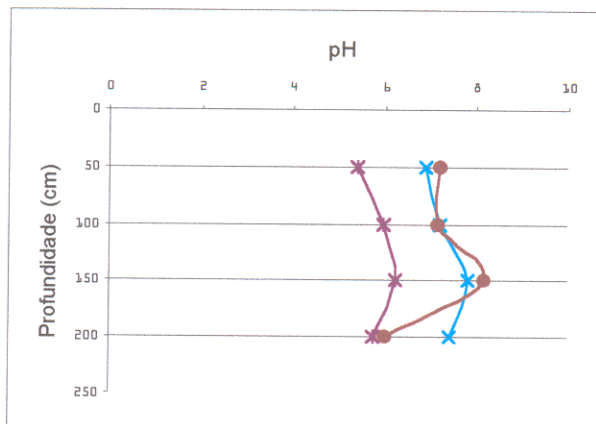
Na área Desmatada o pH é elevado devido a maior salinidade.



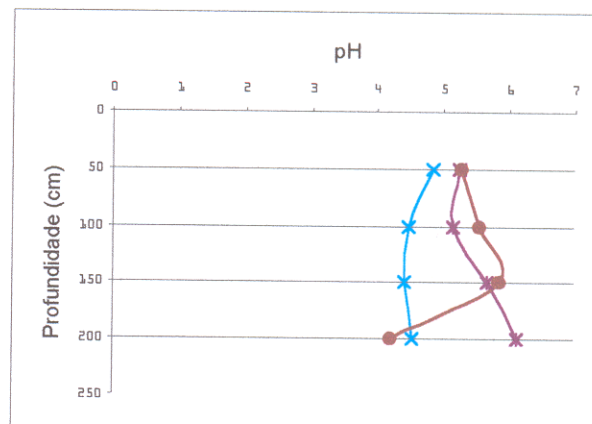
Avicennia 1



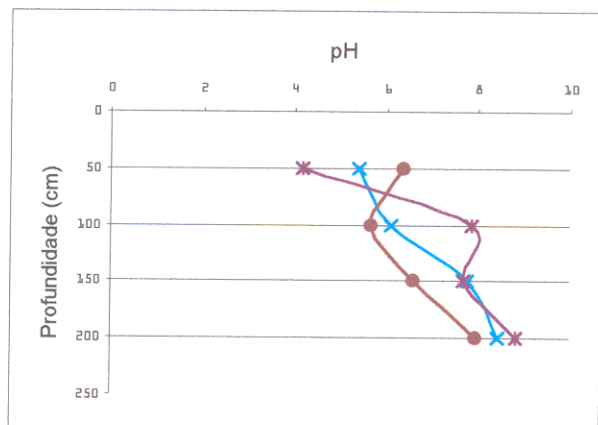
Avicennia 2



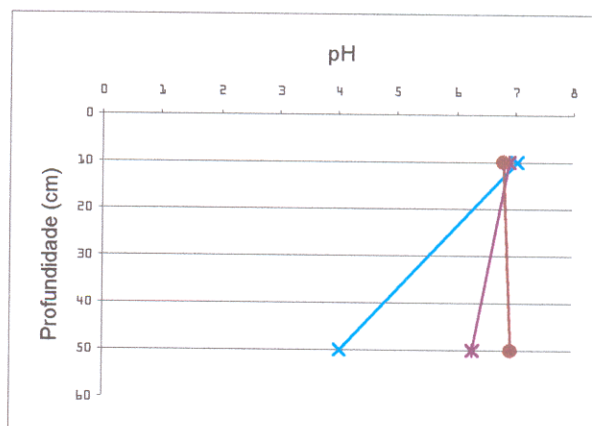
Pântano salino



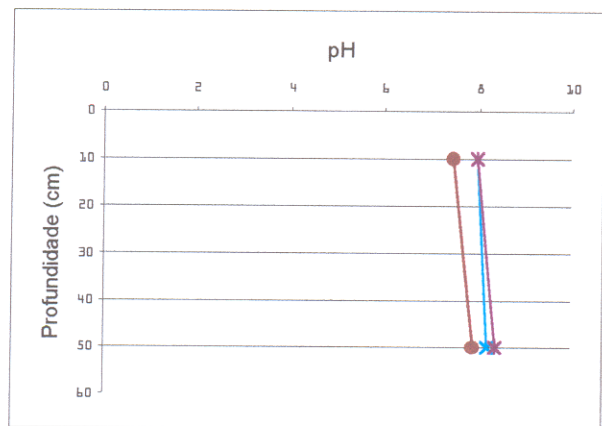
Campo



Fazenda 2



Fazenda 1



Desmatada

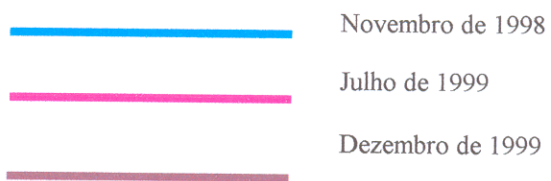


Figura 18 - Gráficos de variação de pH em sedimento.

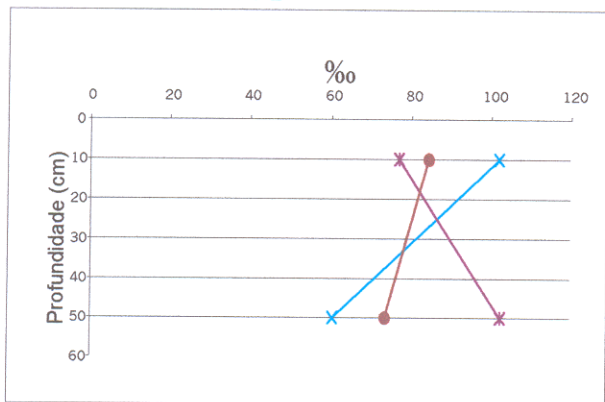
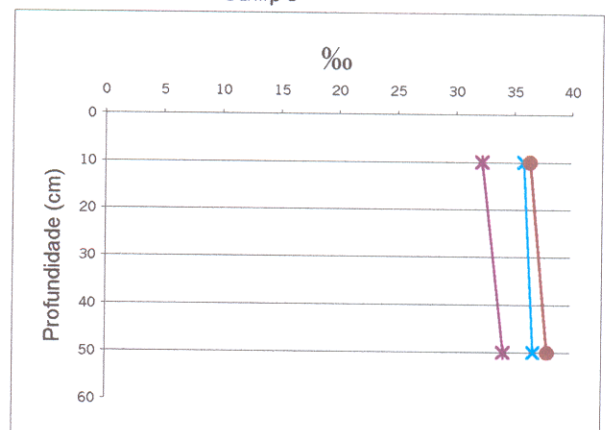
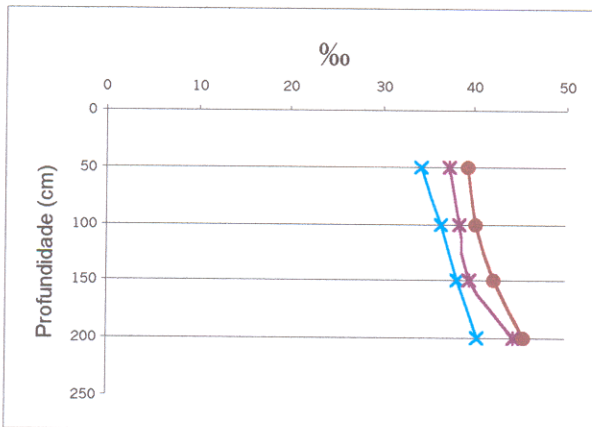
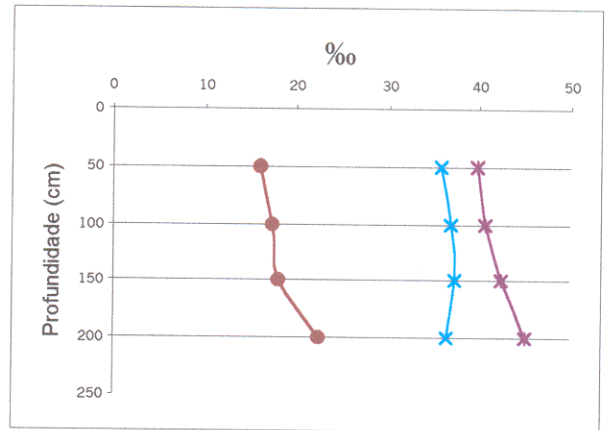
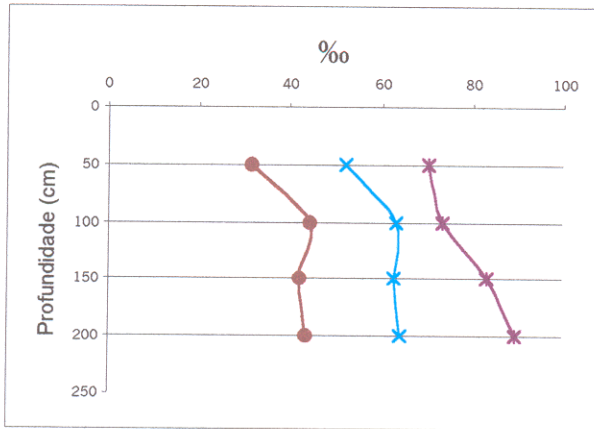
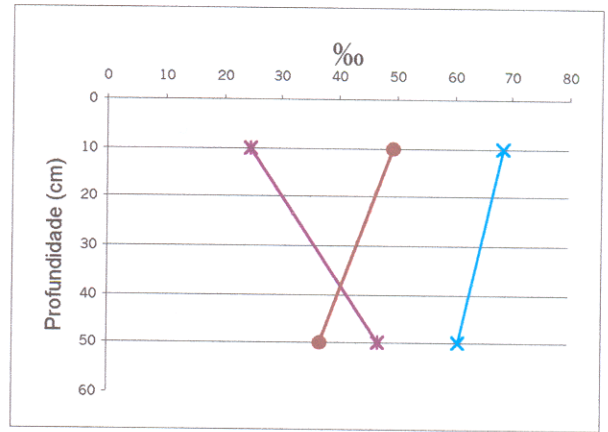
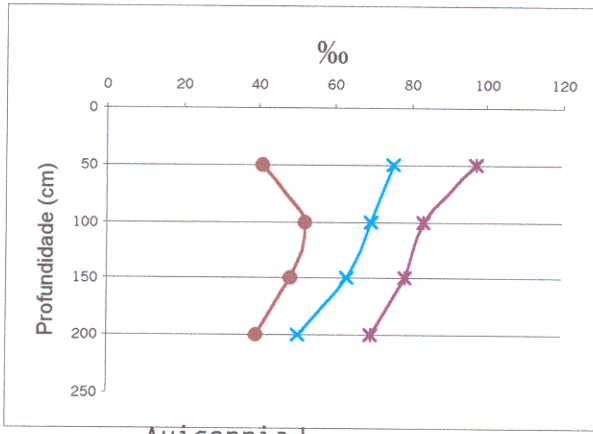
5.3.4 - Salinidade

A salinidade da água intersticial do sedimento apresentou média igual a 71,69‰, e os valores para as áreas pesquisadas foram: Avicennia, 62,85‰, Pântano Salino, 97,64‰, Campo, 52,92‰, Fazenda, 61,66‰ e Desmatada, 83,40‰ (Figura 19 e Tabela 2).

Todas as áreas são próximas umas das outras, por isso não podemos dizer que esta variação na salinidade é devido a entrada de água dos canais diferir de área para área. O fator principal que causa esta variação é a taxa de evaporação, que varia muito com a cobertura vegetal. O monitoramento de Lola *et al*, (1999) mostra que na área Desmatada a temperatura do solo pode alcançar 40° C entre 14:00 e 15:00 horas, enquanto que na área de Avicennia as maiores temperaturas diárias não ultrapassaram 28° C, o que mostra a grande influência da vegetação na capacidade de retenção da água no sedimento, o que diminui sua temperatura.

A cobertura vegetal impede que a água da chuva evapore logo após sua precipitação, fazendo com que ela fique mais tempo retida no ambiente da floresta, o que aumenta a umidade relativa do ar. As raízes também influenciam por aumentar a porosidade do solo, facilitando a percolação da água. Por esses motivos a área Desmatada tem umidade relativa do ar consideravelmente menor do que a do manguezal não alterado, também menor umidade no sedimento e maior salinidade (inclusive com a formação de cristais de sal em superfície), o que fica demonstrado pela boa correlação entre salinidade e umidade (Figura 20).

A salinidade é maior na superfície do que em profundidade no período de estiagem, quando a radiação solar é alta e aumenta a taxa de evaporação da água, concentrando os sais da água intersticial. Na estação chuvosa (novembro a março), quando o regime pluviométrico e fluvial aumentam, esse quadro se inverte, quando o sedimento superficial fica sujeito a lixiviação que diminui a salinidade.



- Novembro de 1998
- Julho de 1999
- Dezembro de 1999

Figura 19 - Gráficos de variação de salinidade em sedimento.

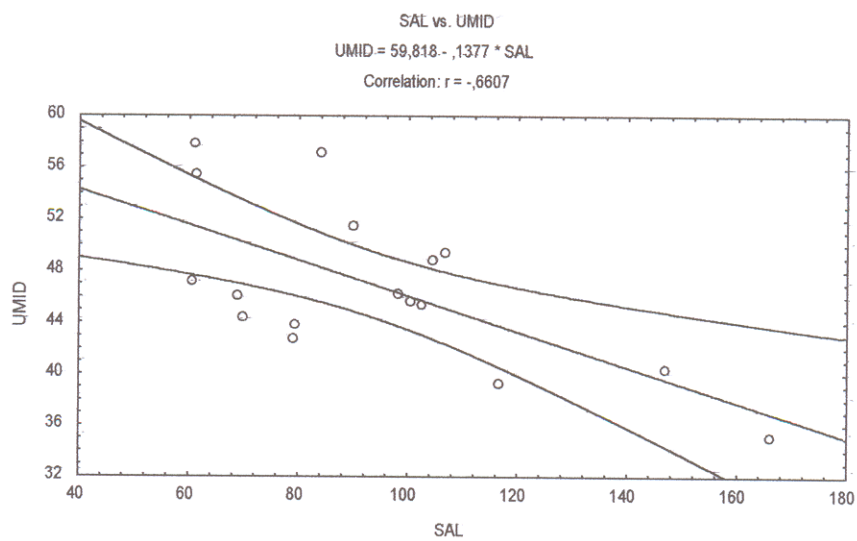


Figura 20- Gráfico de correlação entre umidade e salinidade

Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos

Parâmetro físico-químicos				
Amostras	pH	Umidade %	Salinidade ‰	M. O. %
AV2-10	7,67 ±0,38	48,01 ±2,75	50,3 ±22,07	11,16 ±1,30
AV2-50	7,32 ±0,28	48,77 ±6,07	41,7 ±12,01	10,60 ±1,60
AV1-50	7,37 ±0,26	48,62 ±8,11	71,2 ±11,73	10,29 ±0,85
AV1-100	6,80 ±0,46	43,58 ±2,49	68,3 ±15,16	10,98 ±1,32
AV1-150	6,49 ±0,67	43,68 ±3,68	63,4 ±15,39	11,47 ±1,18
AV1-200	5,01 ±0,77	35,14 ±4,54	53,1 ±9,94	8,37 ±0,46
PS-50	6,49 ±0,95	47,59 ±2,01	51,3 ±7,15	11,47 ±0,39
PS-100	6,78 ±0,72	46,48 ±1,90	60,3 ±30,27	11,52 ±1,76
PS-150	7,41 ±1,02	48,06 ±0,99	62,8 ±19,03	11,73 ±1,62
PS-200	6,39 ±0,90	47,05 ±2,26	65,7 ±1,72	11,89 ±0,13
CA-50	5,12 ±0,24	34,22 ±6,12	30,6 ±78,28	10,95 ±2,31
CA-100	5,05 ±0,55	39,75 ±1,27	31,6 ±68,79	11,35 ±2,26
CA-150	5,31 ±0,77	46,35 ±3,54	32,5 ±11,64	8,83 ±0,88
CA-200	4,95 ±1,02	39,03 ±13,36	34,6 ±3,90	8,63 ±0,46
FA1-10	6,92 ±0,11	35,89 ±11,53	30,4 ±12,40	9,09 ±0,68
FA1-50	5,75 ±1,54	36,56 ±7,19	33,3 ±16,98	8,34 ±0,40
FA2-50	5,30 ±1,10	44,03 ±0,25	36,1 ±24,95	9,56 ±0,16
FA2-100	6,54 ±1,15	45,89 ±3,25	37,7 ±20,42	9,76 ±0,83
FA2-150	7,33 ±0,67	40,75 ±3,37	42,0 ±22,19	10,33 ±0,57
FA2-200	8,39 ±0,43	50,40 ±4,59	48,0 ±9,63	12,90 ±0,87
DE-10	7,81 ±0,30	45,74 ±0,84	74,8 ±12,84	11,14 ±1,65
DE-50	8,15 ±0,25	49,71 ±8,86	64,1 ±21,41	12,17 ±1,71

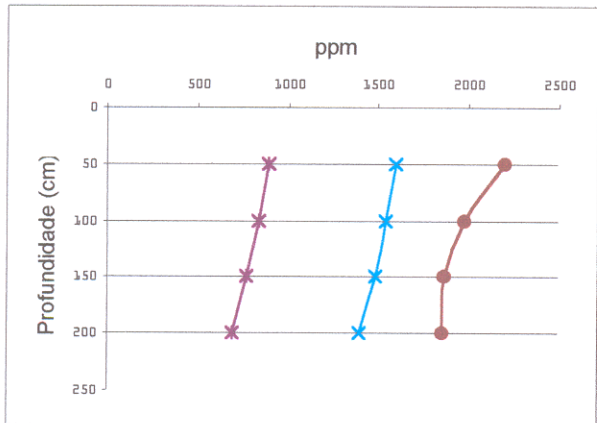
5.4 - MACRONUTRIENTES E SÓDIO

As concentrações dos macronutrientes e sódio na água intersticial, a exemplo da salinidade, também sofrem influência da sazonalidade e da absorção pelas plantas. O macronutriente que apresentou maior concentração média foi o Mg (1788 ppm, Figura 21), seguido pelo Ca (834 ppm) e K (539 ppm; Tabela 3).

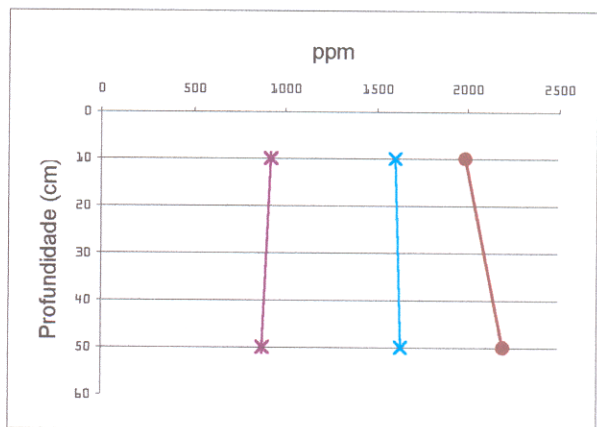
As baixas concentrações de K (379 ppm) na água intersticial na área de *Avicennia* anã podem ser o resultado da absorção pelas árvores (Figura 22). Segundo Epstein (1975), o K é o macronutriente mais utilizado pelas plantas, sendo sua absorção diretamente proporcional ao seu crescimento. Na fase adulta essa absorção é estável, o que em parte explica porque na área de *Avicennia* anã, onde existem plantas de *Avicennia* em crescimento, sua concentração é menor do que em todas as outras áreas. No Pântano Salino, onde as árvores de *Avicennia*, ainda que pequenas são adultas, a concentração de K não é tão baixa devido a sua absorção ser estável. Além da influência da absorção pelas plantas, há a influência da sazonalidade.

Em dezembro o K apresentou concentração média de 720 ppm, maior que nas outras campanhas. A maior incidência de água de precipitação neste período pode ter lavado a vegetação, enriquecendo o sedimento de K proveniente da decomposição da liteira. Essa água rica em K infiltra no sedimento, aumentando a concentração desse elemento na água intersticial, diferente dos dados da campanha de Julho de baixa ou nenhuma alimentação e de consumo de K pelas plantas. A concentração média do Mg é mais alta do que a do Ca, porque o Ca é adsorvido por argilo-minerais (Figura 23), rapidamente absorvido pelas plantas, além de ser facilmente removido do sedimento pela precipitação de concreções carbonáticas (Ramanathan *et al.*, 1999).

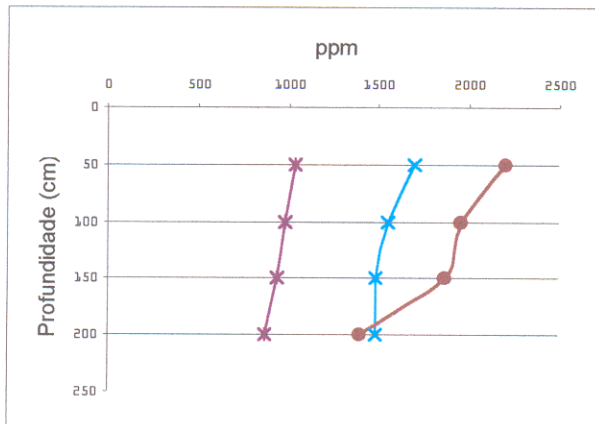
O sódio não apresentou nenhuma tendência significativa (Figura 24).



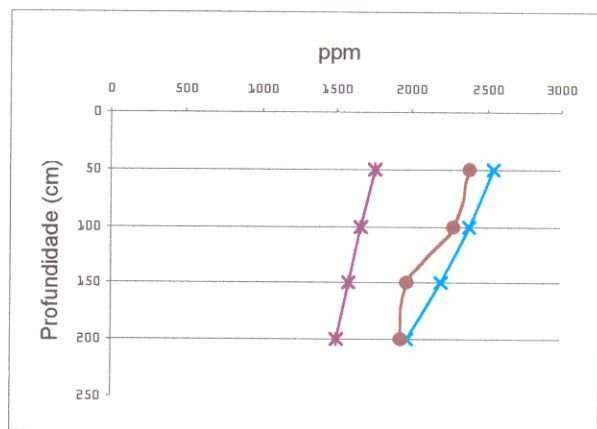
Avicennia 1



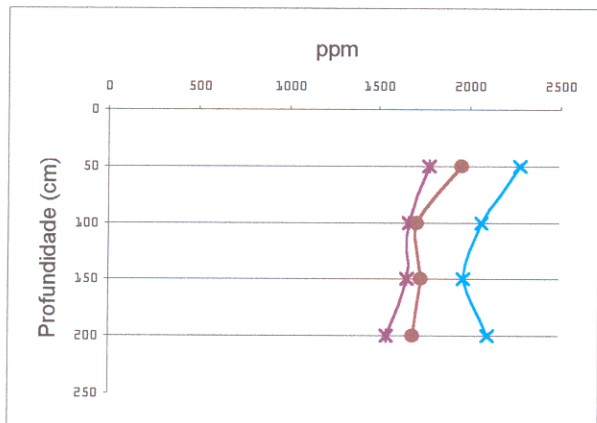
Avicennia 2



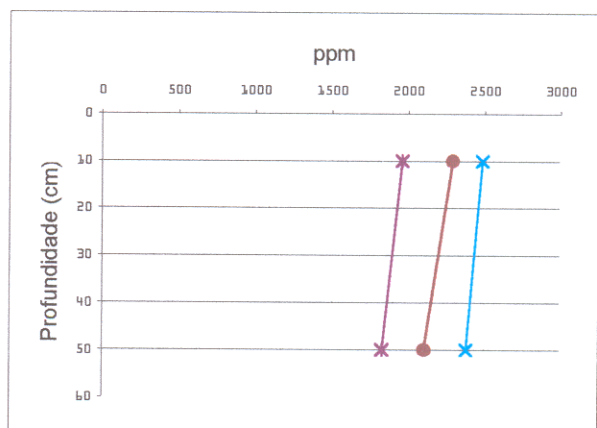
Pântano salino



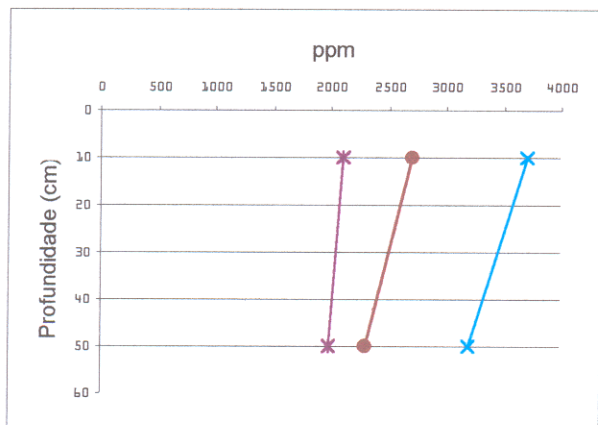
Campo



Fazenda 2



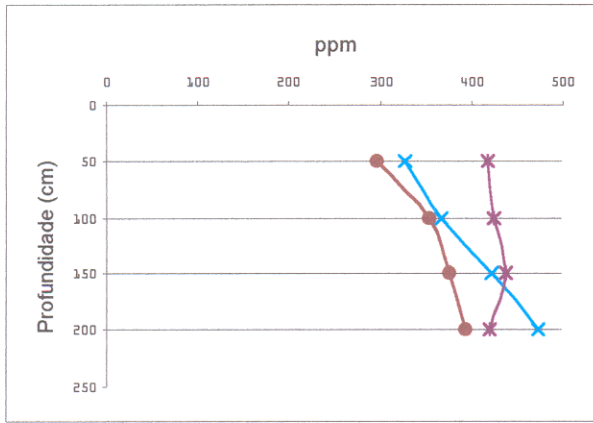
Fazenda 1



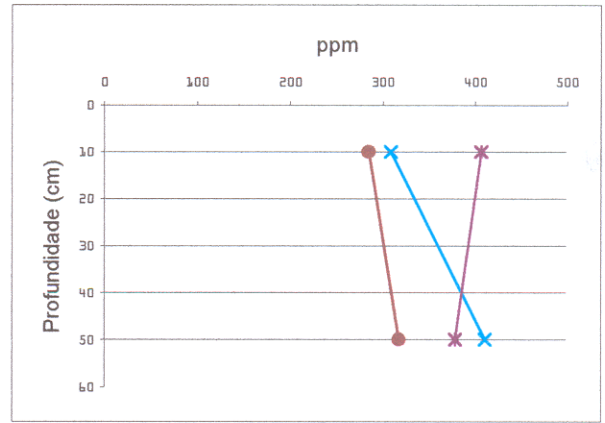
Desmatada



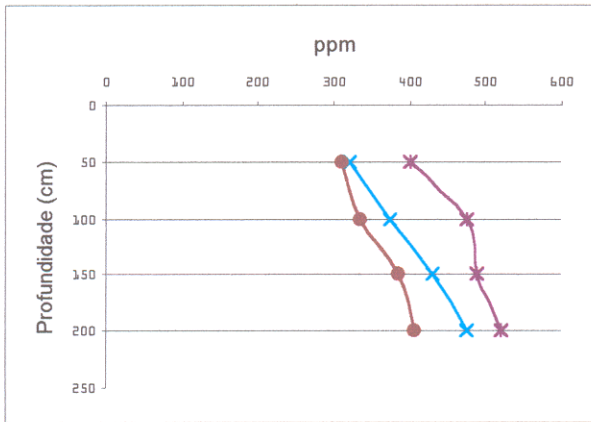
Figura 21 - Gráficos de variação de magnésio em água intersticial.



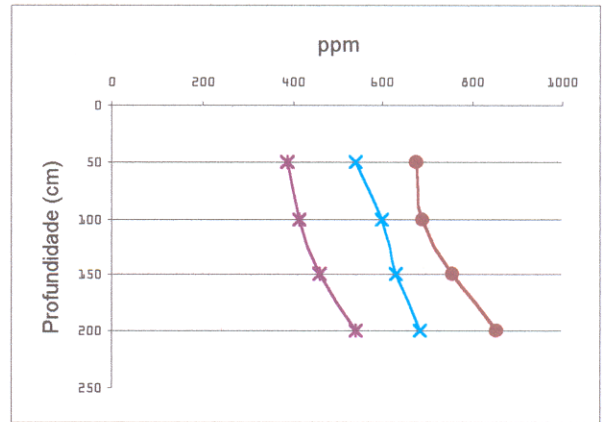
Avicennia 1



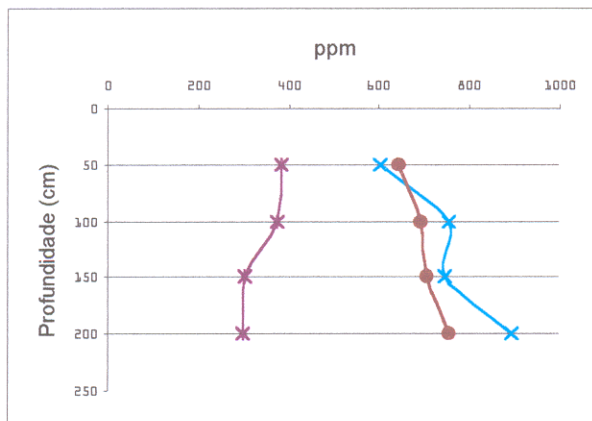
Avicennia 2



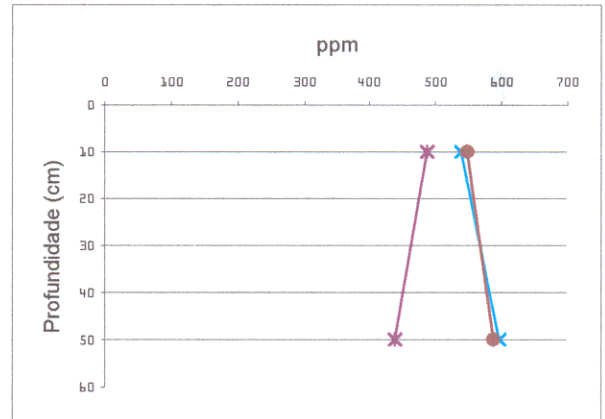
Pântano salino



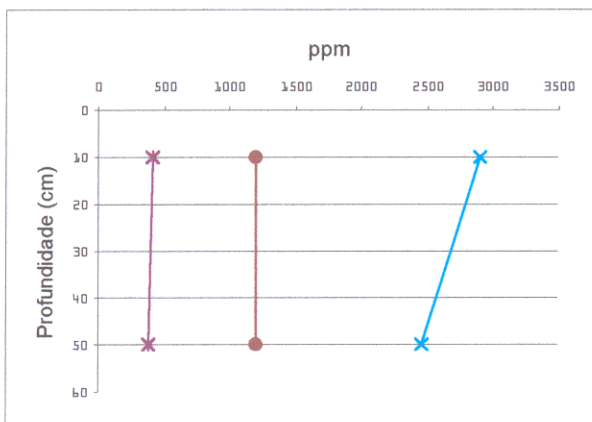
Campo



Fazenda 2



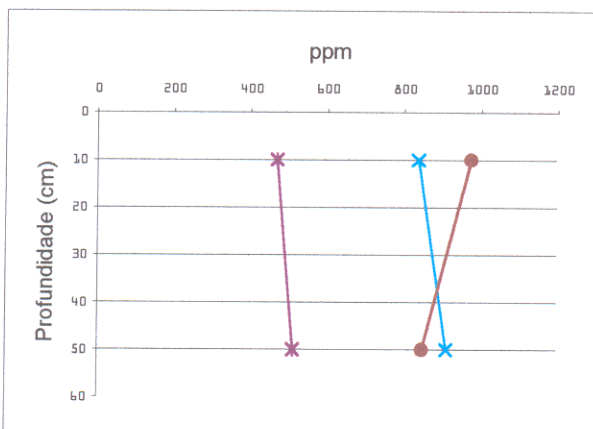
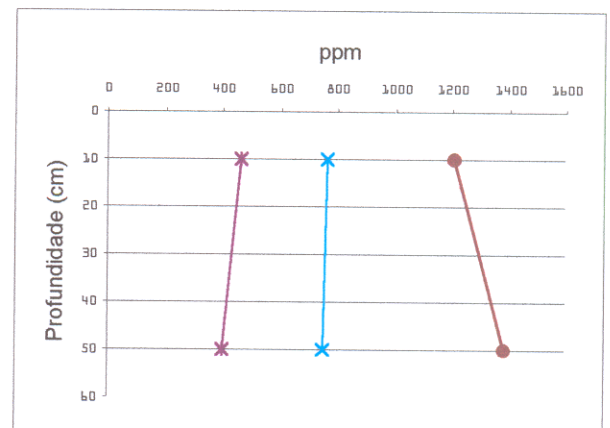
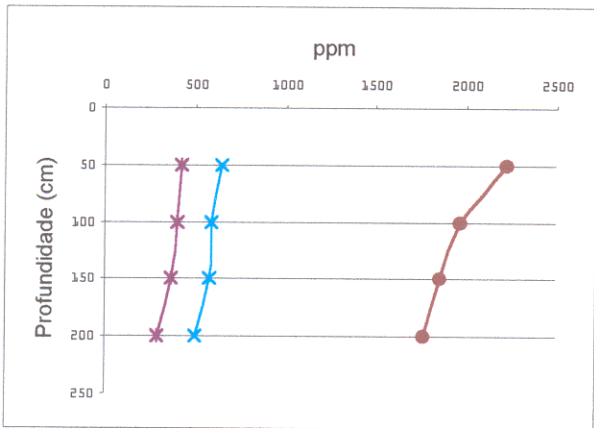
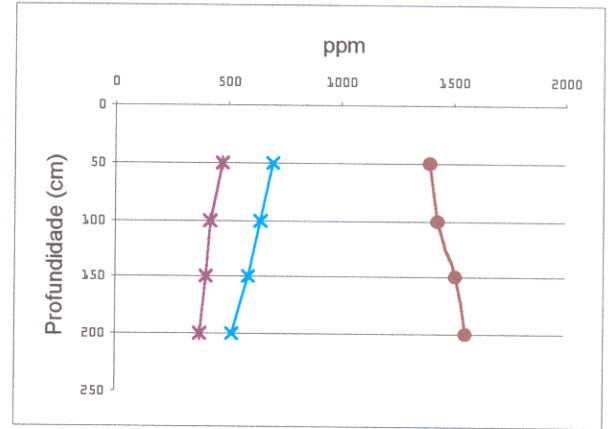
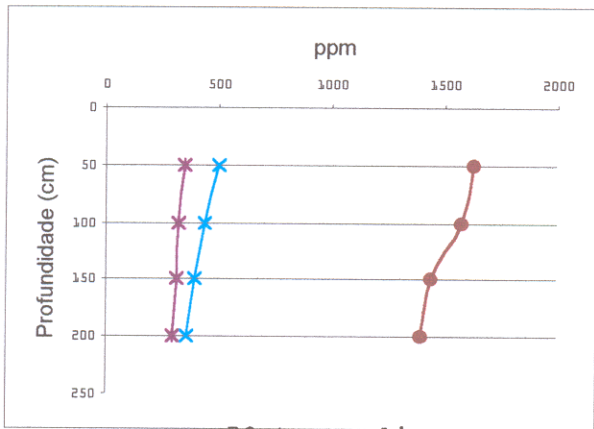
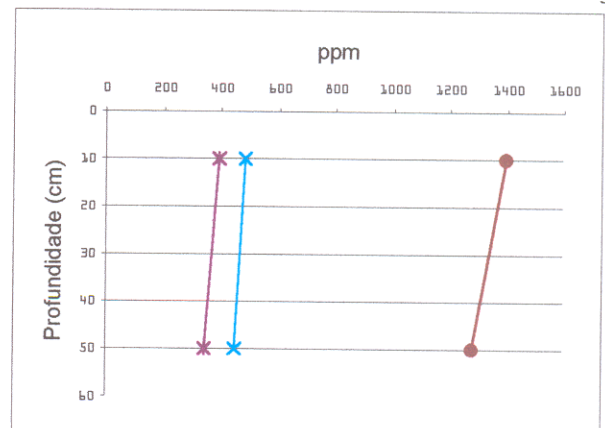
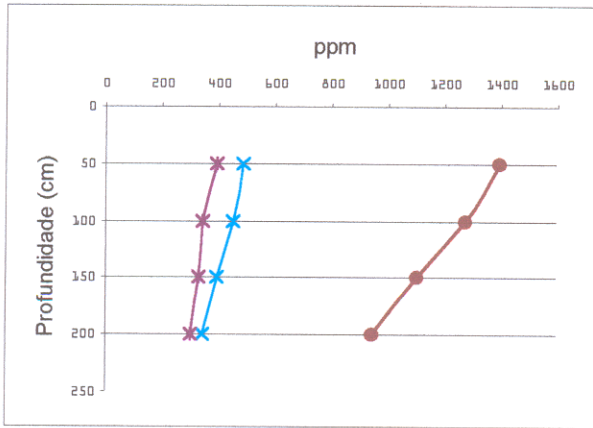
Fazenda 1



Desmatada

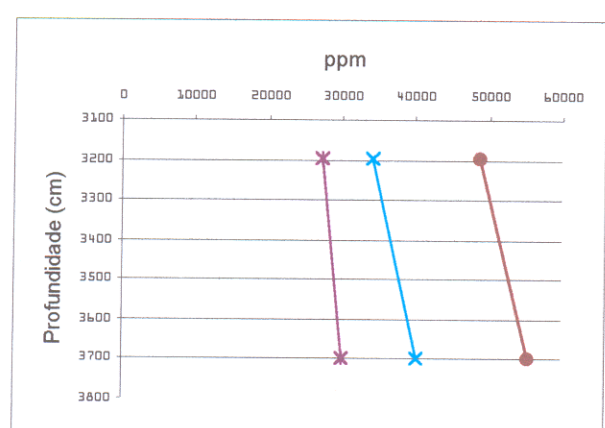
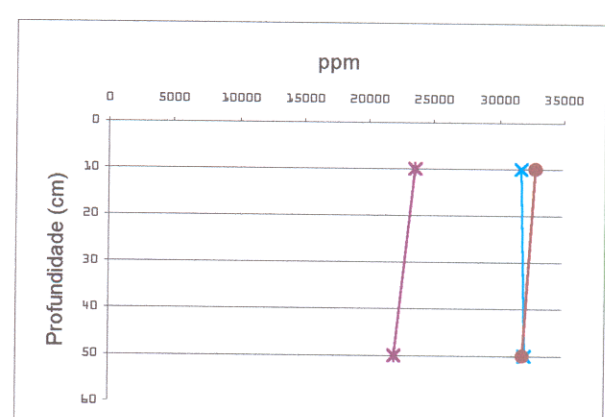
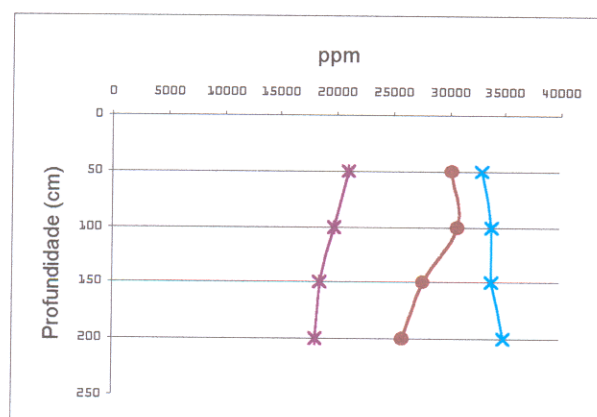
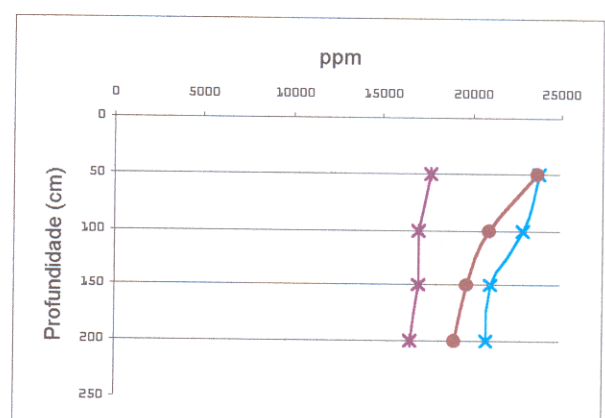
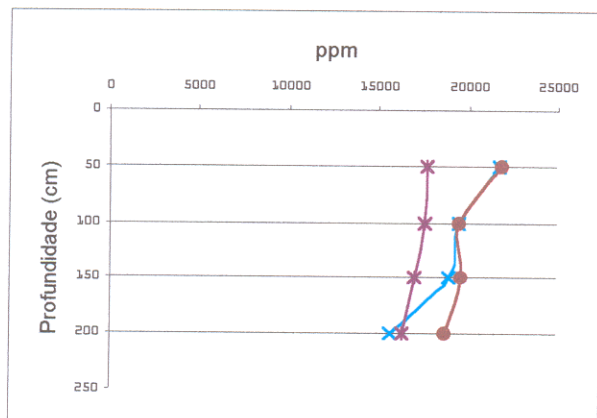
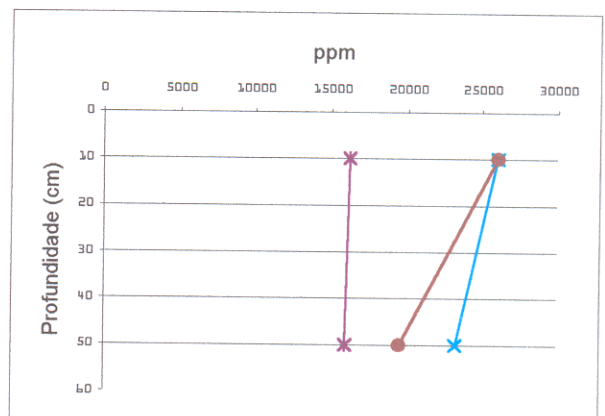
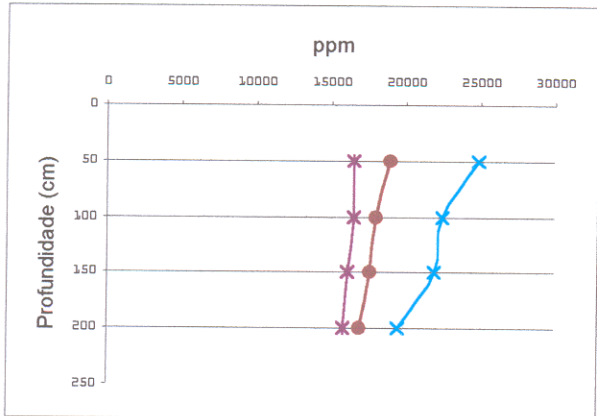
- Novembro de 1998
- Julho de 1999
- Dezembro de 1999

Figura 22 - Gráficos de variação de potássio em água intersticial.



- Novembro de 1998
- Julho de 1999
- Dezembro de 1999

Figura 23 - Gráficos de variação de cálcio em água intersticial.



- Novembro de 1998
- Julho de 1999
- Dezembro de 1999

Figura 24 - Gráficos de variação de sódio em água intersticial.

O logaritmo da concentração média do Mg de pontos de amostragem das três campanhas e a concentração média do Ca apresentaram boa correlação direta (Figura 25). O logaritmo da concentração média do K de pontos de amostragem das três campanhas e o pH apresentaram boa correlação inversa (Figura 26) e a concentração média de Ca correlação direta com logaritmo da concentração média do Na (Figura 27).

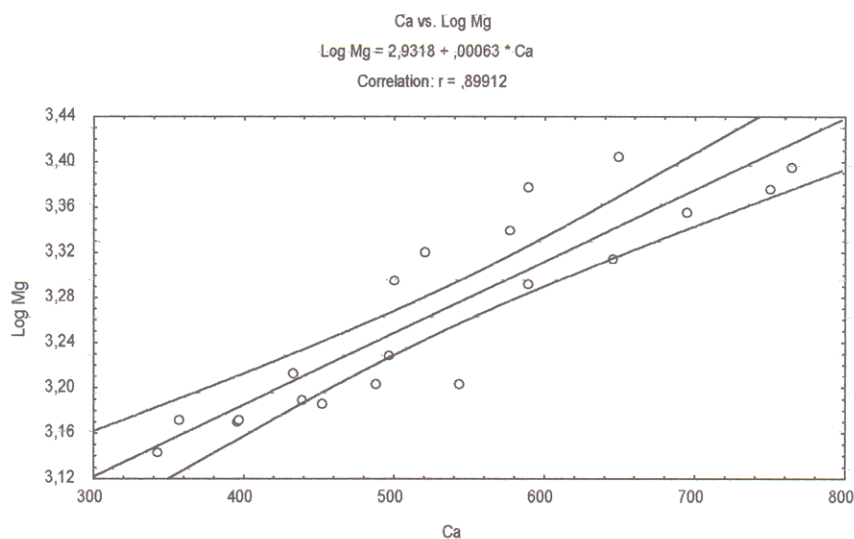


Figura 25 - Gráfico de correlação entre a concentração de Ca e logaritmo da concentração de Mg em água intersticial.

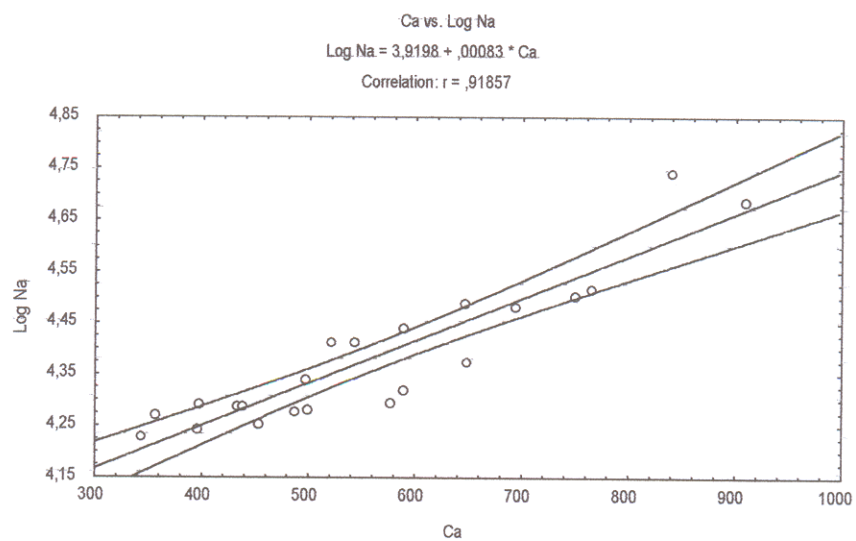


Figura 26 – Gráfico de correlação entre logaritmo da concentração K e o pH em água intersticial.

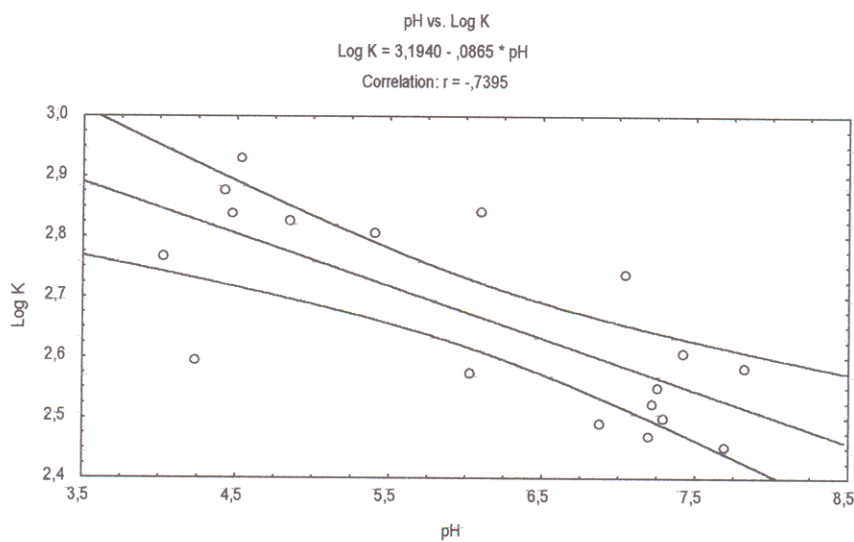


Figura 27 - Gráfico de correlação entre a concentração de Ca e o logaritmo da concentração de Na em água intersticial.

Tabela 3 - Concentração de Na, K, Ca e Mg em água intersticial.

Amostras	Média e desvio padrão dos macronutrientes e Na em ppm							
	Ca		K		Na		Mg	
AV2-10	949,00	±823,80	333,33	±64,83	22733,6	±5631,47	1499,33	±537,20
AV2-50	673,67	±465,23	369,00	±46,81	19527,3	±3610,62	1568,00	±656,49
AV1-50	766,33	±544,67	347,33	±63,01	20119,0	±4266,74	1563,00	±651,67
AV1-100	716,67	±482,87	382,00	±36,86	18923,6	±3099,84	1449,33	±575,76
AV1-150	645,67	±396,67	412,33	±33,31	18498,6	±3010,10	1371,00	±558,49
AV1-200	569,00	±327,95	429,00	±40,26	17390,6	±1876,77	1313,67	±583,27
PS-50	842,33	±682,89	344,33	±50,24	20437,0	±2384,68	1641,33	±582,79
PS-100	826,67	±642,27	394,33	±71,97	18860,0	±1114,99	1494,33	±491,70
PS-150	774,67	±577,21	434,33	±52,20	18497,6	±1342,03	1425,67	±466,84
PS-200	755,67	±555,51	467,33	±58,48	16866,3	±1587,30	1252,67	±330,87
CA-50	1085,00	±989,72	533,67	±142,55	21685,0	±3495,58	2225,67	±415,95
CA-100	989,00	±848,90	567,00	±140,10	20277,3	±2954,31	2110,00	±394,36
CA-150	961,33	±771,87	614,33	±149,12	19262,3	±2109,82	1914,00	±310,38
CA-200	933,67	±719,35	691,00	±157,15	18814,6	±2163,29	1803,00	±260,58
FA1-10	818,00	±362,03	524,67	±33,86	29405,6	±5081,33	2246,67	±262,22
FA1-50	857,33	±482,71	541,00	±89,37	28675,3	±5733,59	2107,00	±272,01
FA2-50	823,33	±514,34	544,33	±138,50	28086,3	±6218,68	1998,33	±255,67
FA2-100	816,67	±547,09	608,67	±203,87	28174,0	±7357,37	1810,00	±222,08
FA2-150	800,00	±630,56	583,67	±244,79	26718,6	±7651,96	1782,67	±162,56
FA2-200	790,67	±671,26	648,33	±312,21	26319,0	±8341,71	1775,00	±287,76
DE-10	743,67	±289,04	1501,67	±1266,9	41869,6	±12754,32	2830,33	±807,92
DE-50	713,67	±287,93	1348,00	±1045,0	36712,3	±10918,62	2493,67	±629,73

5.5 - GRANULOMETRIA

A análise granulométrica nas áreas de Pântano Salino, Avicennia anã, Fazenda e Campo foi feita até 200 cm, apenas na área Desmatada foi feita até 50 cm (Figura 28).

Nas áreas que o perfil foi feito até 200 cm, nota-se um leve aumento na fração silte em 150 cm. A fração areia foi sempre maior na superfície, com exceção da área de campo, que apresentou maior porcentagem da fração areia em 50 cm, essa areia pode ter sido lavada do solo e depositada no fundo das gretas de contração.

A área com maior porcentagem da fração areia foi a Desmatada ($m= 2,40\%$), esta área por não possuir vegetação alguma, fica sujeita a constante lavagem pela água da chuva, que pode *remobilizar as frações mais finas*. *A areia sempre diminuiu com a profundidade em todas as áreas com exceção da Desmatada*, essa diminuição é inversamente proporcional a quantidade de argila. As áreas apresentaram a composição granulométrica indicada na Tabela 4.

O perfil do solo também foi feito para podermos observar a influência da textura do sedimento na absorção de metais (Figura 29).

Tabela 4 – Composição granulométrica das áreas estudadas

Amostras	Argila	silte	areia
AV-10	49,52	48,17	2,31
AV-50	52,34	46,12	1,54
AV-100	53,82	44,82	1,36
AV-150	50,78	48	1,22
AV-200	53,96	44,84	1,2
PS-10	48,72	48,71	1,12
PS-50	50,31	48,71	0,98
PS-100	52,14	47,5	0,36
PS-150	53,19	46,71	0,1
PS-200	53,97	46,03	0
CA-10	45,33	52,21	2,46
CA-50	42,18	55,3	2,52
CA-100	43,76	54,08	2,16
CA-150	44,82	53,17	2,01
CA-200	44,94	53,9	1,16
FA-10	52,16	45,5	2,34
FA-50	53,18	44,61	2,21
FA-100	53,76	44,08	2,16
FA-150	54,12	43,9	1,98
FA-200	53,96	44,9	1,14
DE-10	44,16	53,41	2,43
DE-50	46,96	50,68	2,36

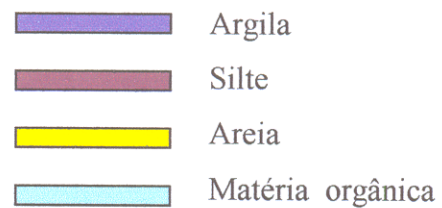
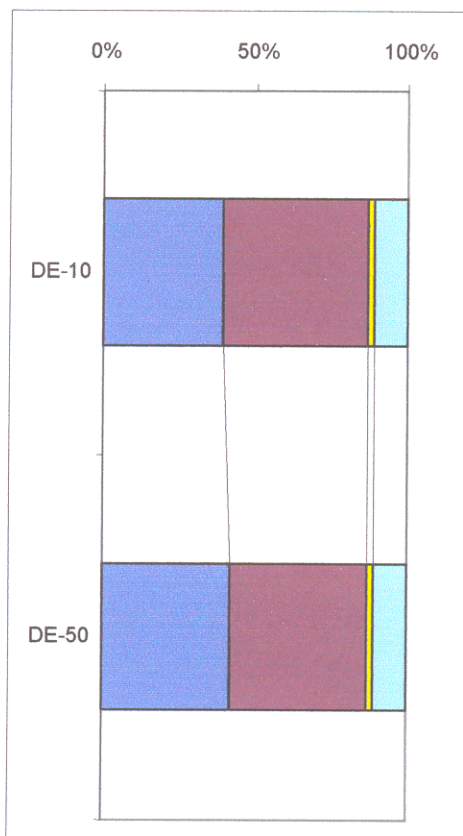
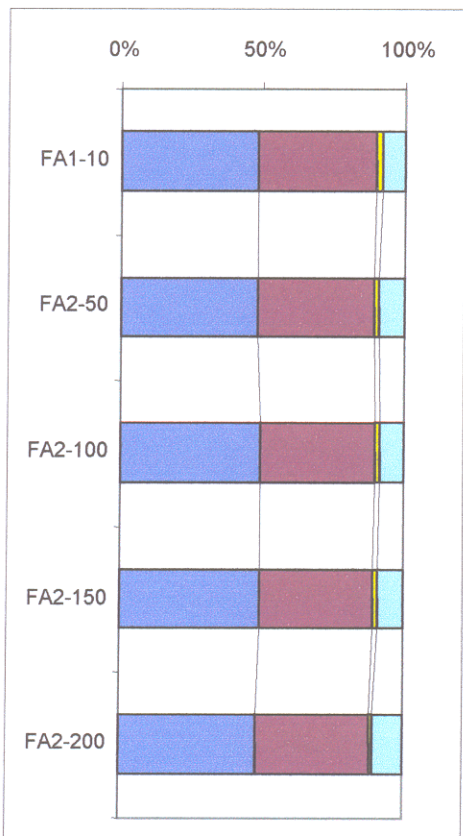
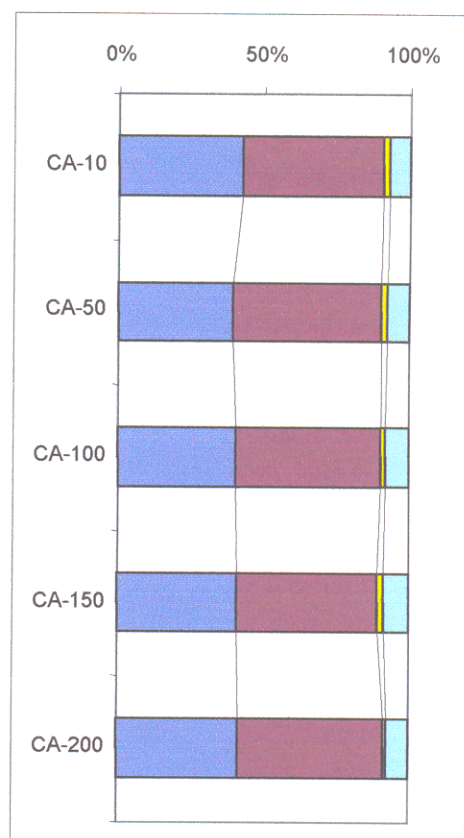
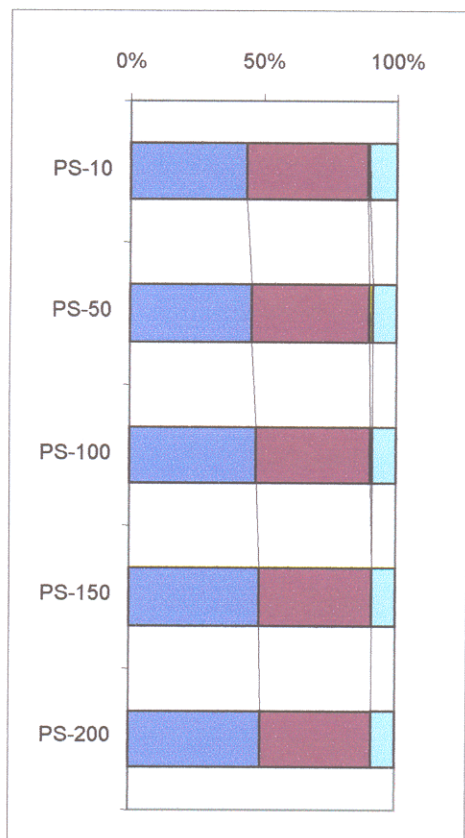
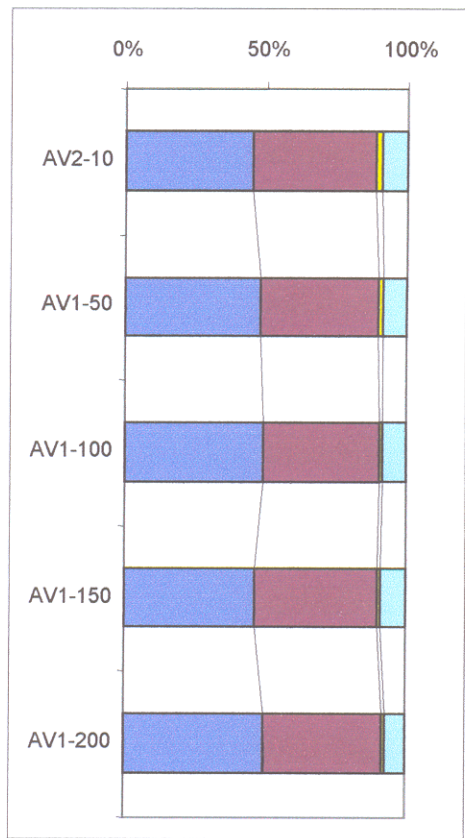
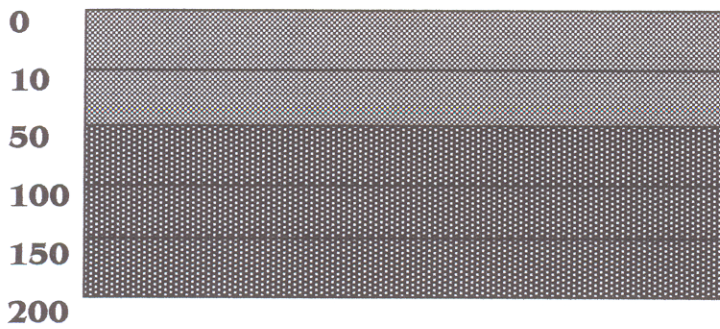


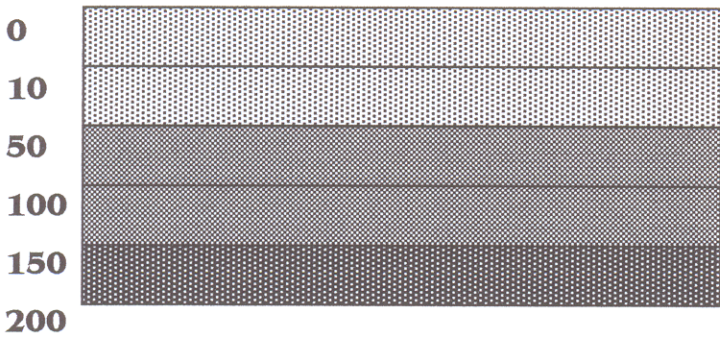
Figura 21 - Gráficos de granulometria nas 5 áreas



Coloração cinza médio, oxidada, inconsolidada, com raízes.

Coloração preto acastanhada, inconsolidada, com raízes até 150 cm.

Avicennia

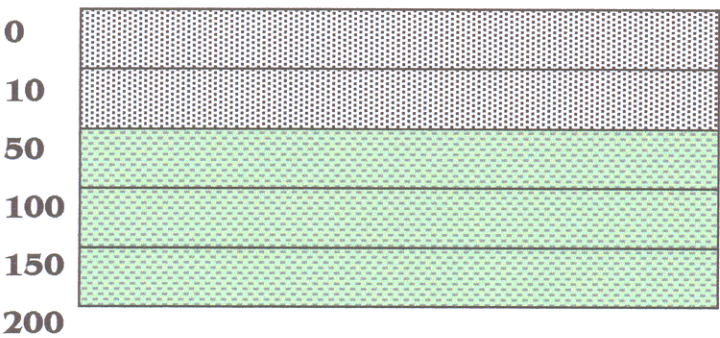


Coloração cinza clara, oxidada, compactada, com raízes.

Coloração cinza médio, oxidada, inconsolidada, com raízes.

Coloração preta, inconsolidada, orgânica.

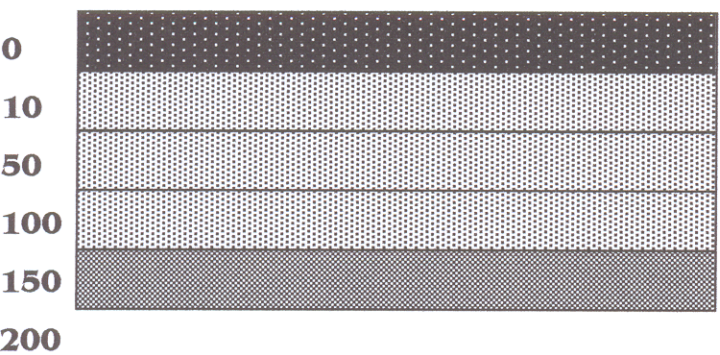
Campo



Coloração cinza clara, com gretas contração, com raízes.

Coloração de cinza claro a verde oliva, inconsolidada, com raízes até 100 cm.

Fazenda

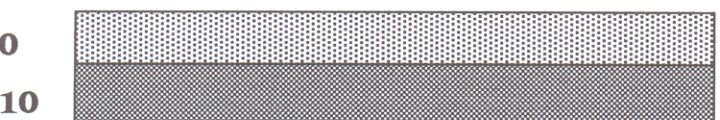


sedimento e matéria orgânica queimados

Coloração cinza claro, consistente.

Cinza escuro, inconsolidado.

Desmatada



Coloração cinza clara, oxidada, compactada.

Coloração cinza médio, compactada.

Figura 29 – Descrição do perfil das 5 áreas estudadas

5.6 - METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS E ÁRVORES

A importância do manguezal na circulação de metais pesados é devido a sua capacidade de equilibrar e imobilizar metais ou transportá-los através de detritos vegetais e partículas de material orgânico, portanto a biodisponibilidade de metais pesados é função dessa distribuição (Förster & Salomon, 1984)

Os metais pesados encontram-se no solo em muitas fases; as estudadas neste trabalho foram a não-residual e a residual. A fase não-residual envolve os metais que não estão ligados à rede cristalina, aqueles que incorporam-se ao sedimento a partir da solução aquosa por processos tais como adsorção, precipitação e complexação orgânica e inorgânica (Lacerda & Abrão, 1984). Desta fração também fazem parte as fases geoquímicas carbonácea, redutível e orgânica (Morales, 1997). Os metais presentes na fração não-residual são os que estão com maior biodisponibilidade para o ambiente. A fase residual inclui os metais que fazem parte da matriz geológica do sedimento (Lacerda & Abrão, 1984). Os metais presente nesta fase são usados como referência para determinar o grau de contaminação do sedimento (Morales, 1997).

Assim como Lacerda *et al* (1995), consideramos como concentração de metal total a soma da fração residual com a fração não residual. O manguezal estudado mostrou concentrações totais de metais pesados em sedimento mais baixas que as relatadas em várias partes do mundo, sendo que apenas o Fe apresentou concentrações maiores do aquelas ocorrentes na maioria de outras regiões (Tabela 5). A concentração na fase residual é bem mais alta que na não-residual, indicando que da concentração total de metais no sedimento apenas uma pequena parte encontra-se disponível (Tabela 6).

O mangue também mostra pequenas quantidades de metais pesados nos compartimentos bióticos se comparados com outro mangue (Tabela 7).

Tabela 5 – Concentração de metais pesados (ppm) em sedimento em várias partes do mundo e deste trabalho.

Países	Cu	Zn	Cr	Pb	Cd	Fe	Mn	Autores
Alemanha	22	83	55	56	0,52	1147	806	Zöettle & Huettl
Áustria	17	65	20	150	0,20	13300	310	Kazda & Glatzel
Bélgica	17	57	90	38	0,33	1638	335	Temmerman <i>et al.</i>
Canadá	22	74	43	20	0,30	-	520	Vinogradov <i>et al.</i>
Dinamarca	11	7	21	16	0,24	1236	315	Tjell <i>et al.</i>
Espanha	14	59	38	35	1,70	-	-	Aller & Deban
EUA	25	54	53	20	0,50	-	560	Adriano.
França	13	16	29	30	0,74	-	538	Moré & Coppenet
Holanda	18,6	72,5	25,4	60,2	1,76	-	-	Doelman <i>et al.</i>
Itália	51	89	100	21	0,53	3700	900	Bini <i>et al.</i>
Inglaterra	15,6	78,2	44	48,7	0,70	3141	1405	Aubert <i>et al.</i>
Suécia	8,5	182	2,3	69	1,20	6300	770	Melkerud <i>et al.</i>
Este trabalho	1,30	18,84	19,01	9,95	0,20	8537	38,7	Este trabalho

**Tabela 6 - Média de metais pesados em sedimento de manguezal
na fase residual e não-residual.**

Amostras	Média dos metais na fase não-residual e residual (ppm)								
	FeR	FeT	MnR	MnT	ZnR	ZnT	Cr	Pb	Cu
AV2-10	13014,0	1631,0	43,9	44,0	19,8	11,3	23,7	8,3	1,4
AV2-50	11861,0	2133,7	44,1	37,7	21,1	9,0	23,0	11,1	1,4
AV1-50	8603,0	1844,7	42,7	42,3	18,6	9,0	19,8	7,4	1,5
AV1-100	8911,3	1419,7	44,9	42,7	18,4	10,0	20,9	7,9	1,6
AV1-150	9823,0	1812,0	48,0	39,0	19,3	11,3	22,7	8,9	1,4
AV1-200	12843,3	2443,3	45,0	31,7	21,2	9,0	29,7	11,3	1,1
PS-50	11780,0	2223,3	39,8	31,0	20,8	12,0	28,1	14,0	1,1
OS-100	9657,7	2090,7	42,1	39,7	20,2	12,7	25,1	14,0	1,8
OS-150	10799,3	2476,0	41,4	38,0	21,1	14,0	27,2	14,4	1,8
OS-200	9557,7	1944,0	45,7	43,0	18,1	16,0	25,5	13,2	2,0
CA-50	6580,0	1654,3	31,7	20,0	16,9	8,3	13,7	7,5	0,7
CA-100	8482,7	1514,7	37,1	18,3	17,4	8,7	15,3	8,2	0,7
CA-150	6810,7	1679,3	30,5	21,0	16,7	8,0	14,5	7,6	0,8
CA-200	6015,3	1652,7	31,3	21,7	16,7	8,0	13,7	7,6	1,2
FA1-10	6569,3	1796,0	34,3	18,3	16,5	9,7	13,5	8,8	0,8
FA1-50	5535,7	1720,3	33,3	19,0	17,6	7,0	13,5	9,0	0,9
FA2-50	7392,3	1871,7	35,1	20,0	18,6	9,7	16,0	10,4	1,2
FA2-100	7220,7	1799,3	32,5	20,0	18,3	10,0	15,7	9,6	1,3
FA2-150	5454,3	1228,7	35,4	19,7	18,7	11,0	13,3	9,9	1,3
FA2-200	5942,7	1424,0	35,9	21,0	19,3	13,0	14,5	10,8	1,3
DE-10	7325,0	1386,7	39,9	36,0	19,5	10,3	13,8	9,3	2,1
DE-50	7631,3	1242,7	37,4	27,3	19,6	14,3	15,1	9,6	1,3
Média	8536,83	1772,22	38,73	29,61	18,84	10,56	19,01	9,95	1,30

Outra característica importante dos metais pesados é a facilidade em formar sulfetos estáveis que precipitam no sedimento do manguezal (Lacerda *et al.*, 1985). Apenas o Mn forma sulfetos com baixa estabilidade facilmente precipitados como Mn^{+2} (Giblin *et al.*, 1986), ou seja, é mais móvel que os outros metais e portanto mais disponível para absorção pelas plantas.

Tabela 7 - Concentração de metais pesados na área de estudo e em um manguezal no sul do Brasil

Florestas	Fe	Mn	Zn	Autor
Manguezal				
Caule	9,2	20,2	2,8	Este trabalho
Raízes	564	17,6	18,7	
Concentração da folha (ppm)	34,9	120,8	9,4	
Manguezal				
Caule	12,4	20,4	3,4	Silva <i>et al.</i> (1990)
Raízes	1010	15,4	19,9	
Concentração da folha (ppm)	37,2	101	7,2	

Tabela 8 - Concentração média de metais pesados nas diversas partes de *Avicennia germinans* (o valor entre parêntese é o desvio padrão).

Partes da planta	Concentração média de metais pesados ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)		
	Fe	Mn	Zn
Raiz	564,7 ($\pm 67,8$)	17,6 ($\pm 0,9$)	18,7 ($\pm 3,2$)
Folhas	34,9 ($\pm 4,8$)	120,8 ($\pm 5,6$)	9,4 ($\pm 1,2$)
Hastes	18,7 ($\pm 0,5$)	42,7 ($\pm 4,4$)	5,2 ($\pm 1,0$)
Caule	9,2 ($\pm 0,8$)	20,2 ($\pm 1,0$)	2,8 ($\pm 0,4$)

Todas as áreas, com exceção da área de *Avicennia anã*, apresentaram concentração de Fe não residual no sedimento constante nas três campanhas e em profundidade (Figura 30).

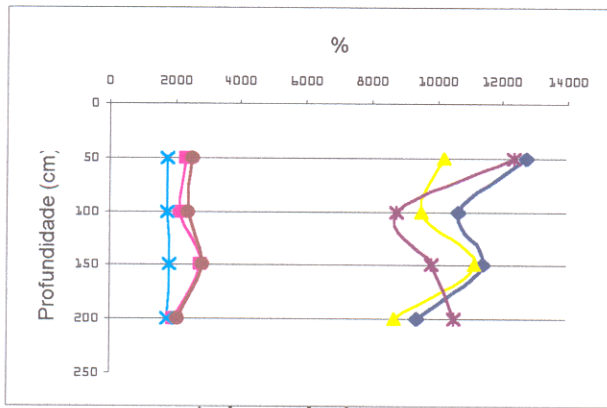
A área de *Avicennia anã* apresentou maior concentração de Fe residual entre 10 e 50 cm no perfil. De 50 a 100 cm a concentração de Fe residual diminuiu, a 150 cm houve um leve aumento voltando a diminuir a 200 cm. A concentração de Fe não residual mostrou-se quase constante nas campanhas de novembro de 1998 e julho de 1999, com um leve aumento a 150 cm, que pode ser devido as placas de Fe depositadas nas raízes. Segundo Chiu e Chou (1991), a oxidação das raízes de *Kandelia candel* é mais alta na seção apical da raiz, diminuindo em direção a superfície. Na campanha de novembro de 1999 o Fe não residual foi constante no perfil.

No Pântano Salino a concentração de Fe residual é até cinco vezes maior que a de Fe não residual. O Fe residual aumentou entre 150 e 200 cm, onde a quantidade de argila (53,97%) é a mais alta do perfil. Alguns trabalhos afirmam que a fração argila é a mais importante na acumulação de metais. A concentração de metais tende a aumentar na ordem areia<silte<argila, porque a argila tem maior área superficial para a adsorção de metais.

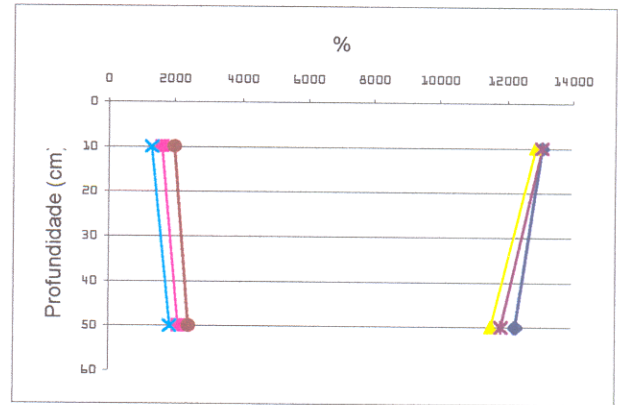
Na área de Campo o Fe residual nas três campanhas apresentou pouca diferença na sua concentração na superfície (0-50 cm) e aumentou em 100 cm voltando a diminuir no resto do perfil. O capim da área de Campo possui raízes de aproximadamente 100 cm, que são parcialmente cobertas por placas de Fe, semelhantes as que ocorrem nas raízes das árvores de *Avicennia*. Essas placas aumentam a concentração de Fe na interface raiz-sedimento.

Na área Desmatada a variação na concentração de Fe residual em novembro de 1998 e julho de 1999 foram similares. De 0 a 10 cm a concentração foi menor, aumentando em 50 cm, onde há maior quantidade de argila (46,94%) e de matéria orgânica (12,34%) no perfil. Na campanha de dezembro de 1999 a concentração de Fe residual foi constante no perfil.

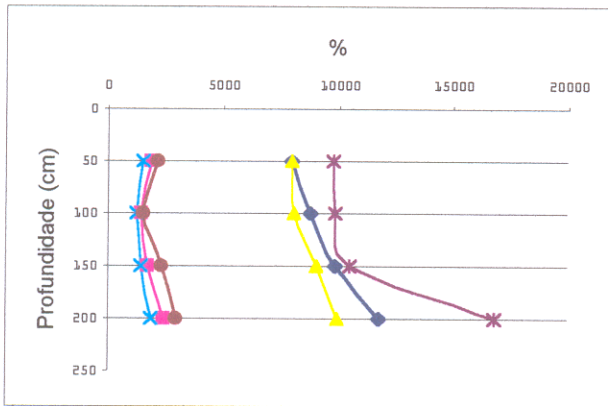
A concentração de Zn não residual na área de *Avicennia anã* tem variação igual nas três campanhas. Apresenta um aumento a 150 cm, que pode ser devido as placas de Fe nas raízes. Na área da Fazenda a variação da concentração de Zn residual e não residual foram parecidas em novembro de 1998 e julho de 1999, sendo que a concentração de Zn residual é cerca de cinco vezes maior que a concentração de Zn não residual (Figura 35).



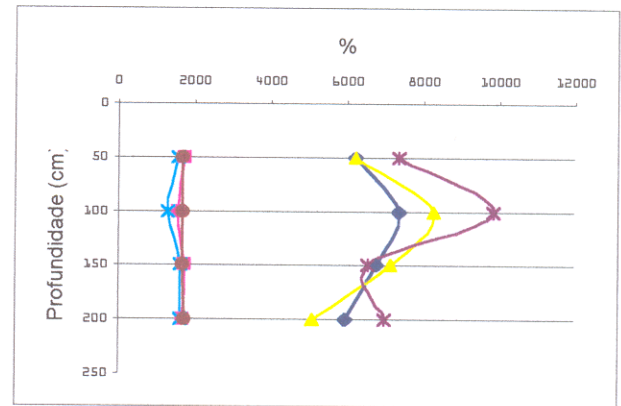
Avicennia 1



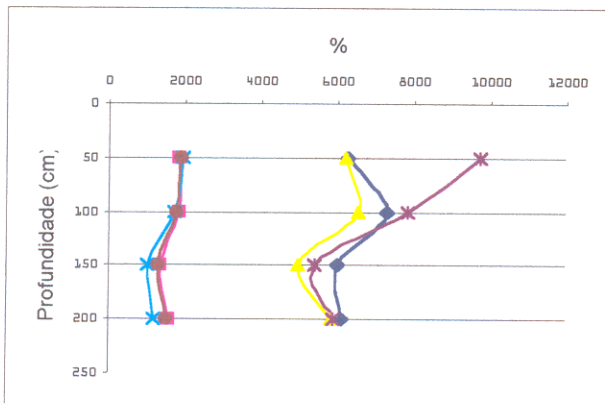
Avicennia 2



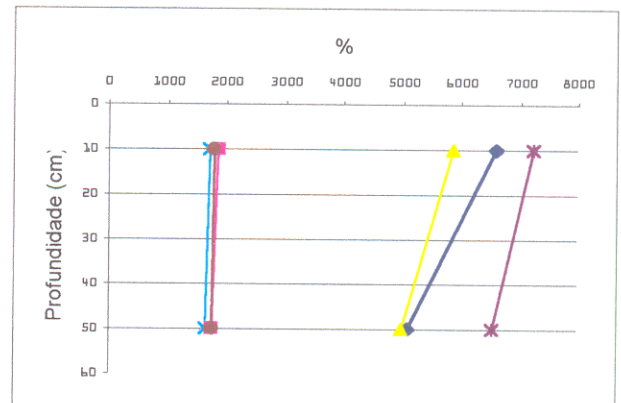
Pântano salino



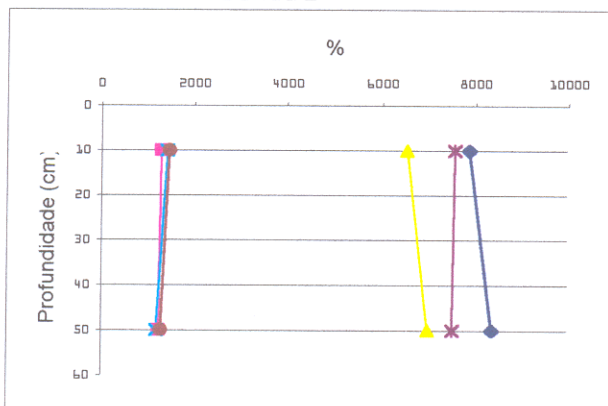
Campo



Fazenda 2



Fazenda 1



Desmatada

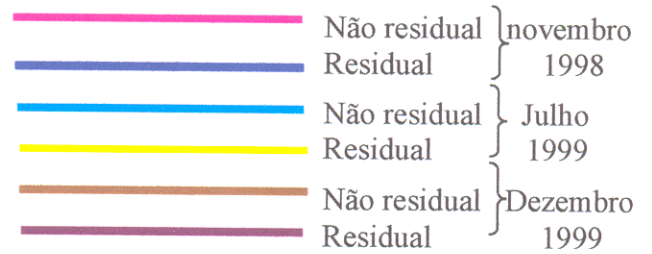


Figura 30 - Gráficos da concentração de Ferro em sedimento.

O Zn entra no manguezal fracamente ligado a hidróxidos de Mn e de Fe, presentes nas partículas em suspensão. Quando essas partículas entram em contato com o sedimento redutor do manguezal o Zn se desliga dos hidróxidos de Mn e Fe e em seguida complexa com colóides e substâncias orgânicas dissolvidas, tornando-se altamente solúvel. O Cd por apresentar propriedades físicas e químicas semelhantes as do Zn (Bryan, 1976) possui mecanismos de absorção iguais aos do Zn (Cataldo *et al.* 1987). Elderfield *et al.* (1979) sugeriu que tanto o Zn como o Cr precipitam com o Fe. Correlações significativas entre a concentração média total de Zn e a média da matéria orgânica (Figura 31), logaritmo da concentração média total de Mn (Figura 32), logaritmo da concentração média total de Fe (Figura 33), foram encontradas neste trabalho.

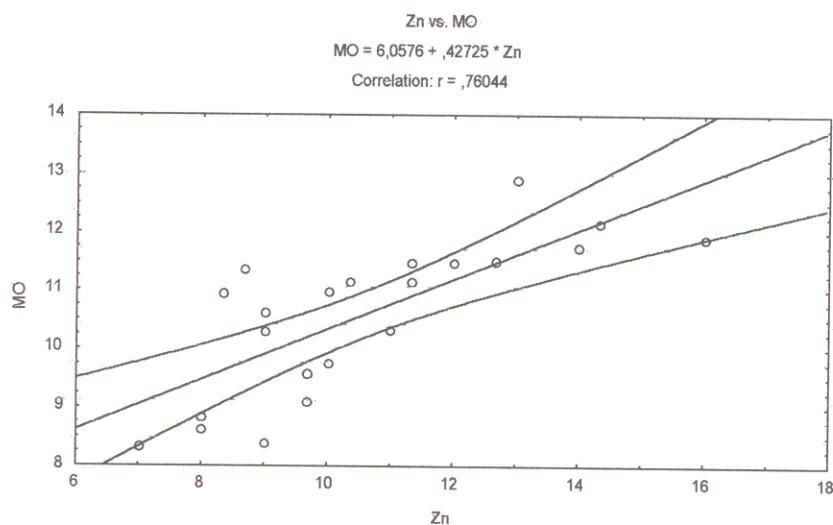


Figura 31 - Gráfico da correlação significativa entre a concentração média do Zn total e a média da matéria orgânica no sedimento.

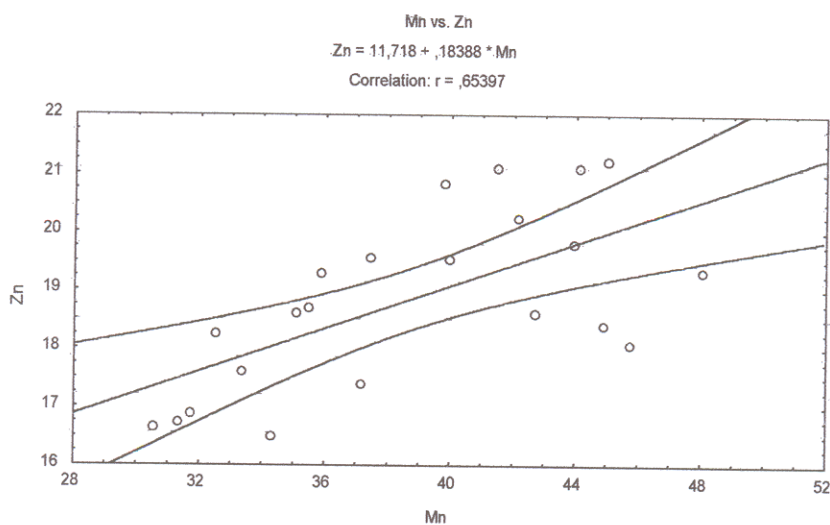


Figura 32- Gráfico das correlação significativa entre a concentração média total de Zn e o logaritmo da concentração média total de Mn no sedimento..

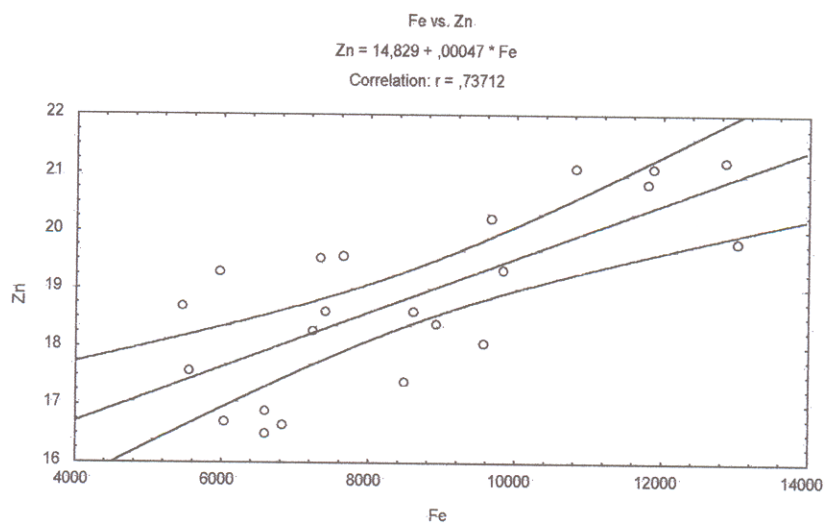


Figura 33 - Gráfico das correlação significativas da concentração média total do Zn com o logaritmo da concentração média total de Fe nos sedimentos.

O Cr não forma sulfetos , mas complexa com moléculas orgânicas dos sedimentos, o que o torna imóvel (Souza, 1987), isso é indicado pelas altas correlações entre Cr e matéria orgânica (Figura 34).

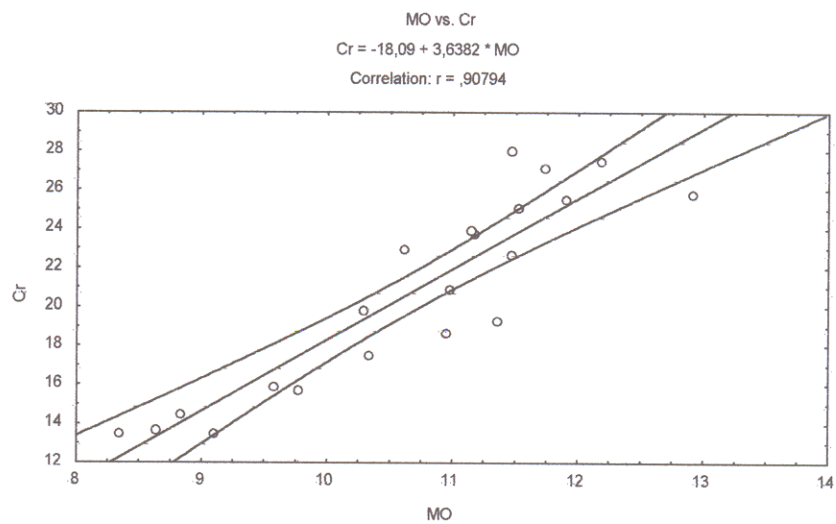
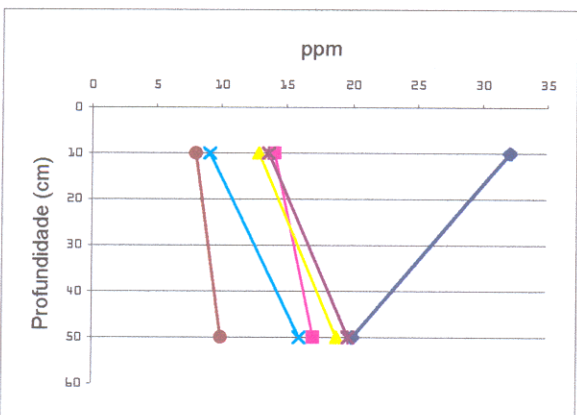
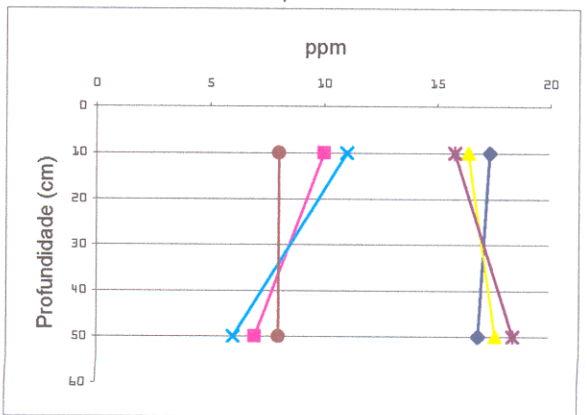
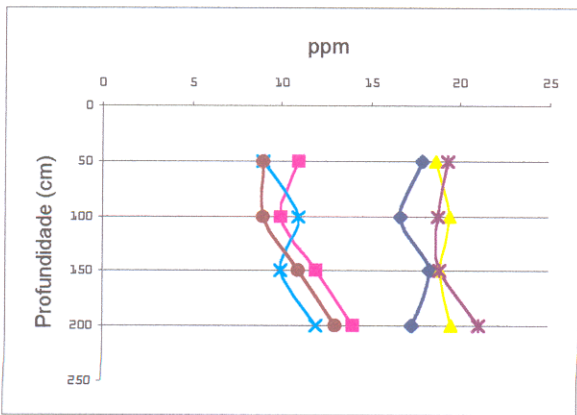
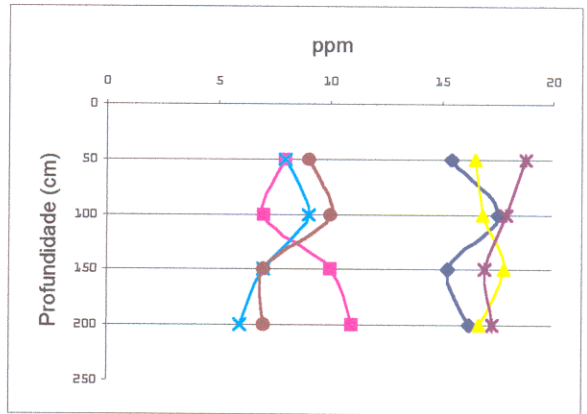
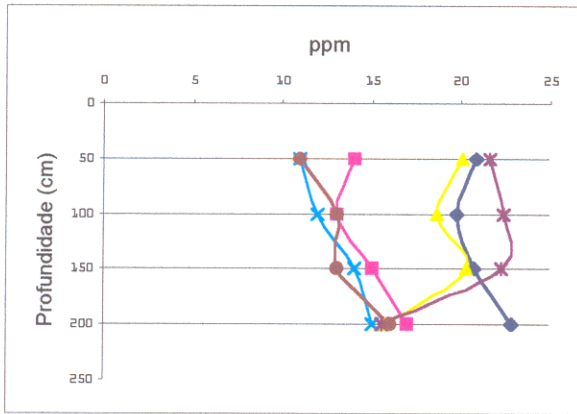
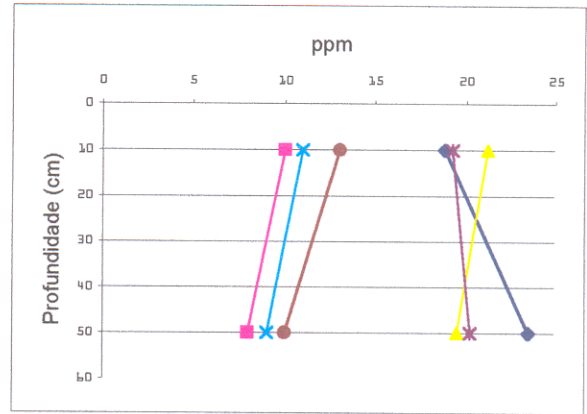
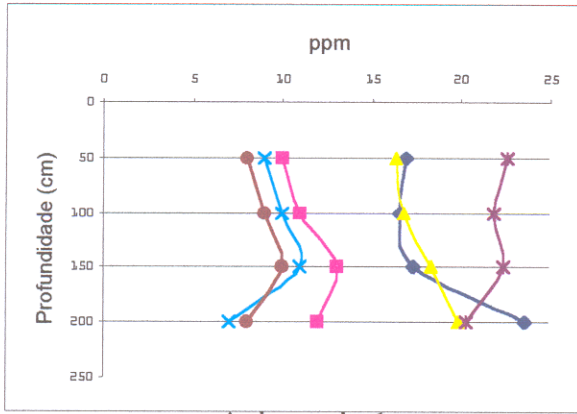


Figura 34 - Gráfico de correlação significativa entre a concentração média total de Cr e a média da matéria orgânica nos sedimentos.

Zn, Mn, Cr, Cd, Cu e Pb não apresentaram tendências ou variações que fossem significativas (Figuras 35, 36, 37, 38, 39 e 40).



- Não residual } novembro
- Residual } 1998
- Não residual } Julho
- Residual } 1999
- Não residual } Dezembro
- Residual } 1999

Figura 35 - Gráficos da concentração de Zinco residual e não residual em sedimento.

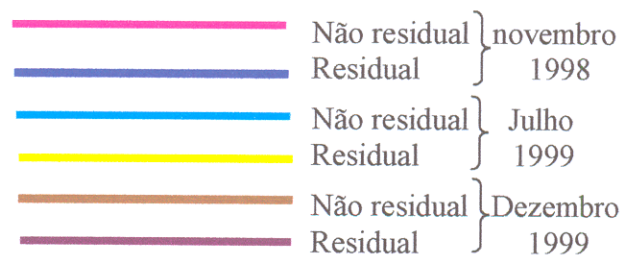
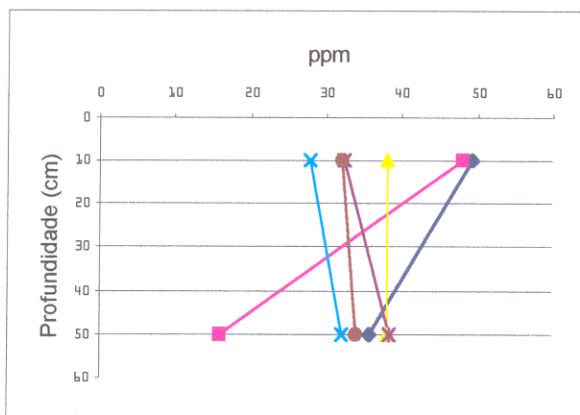
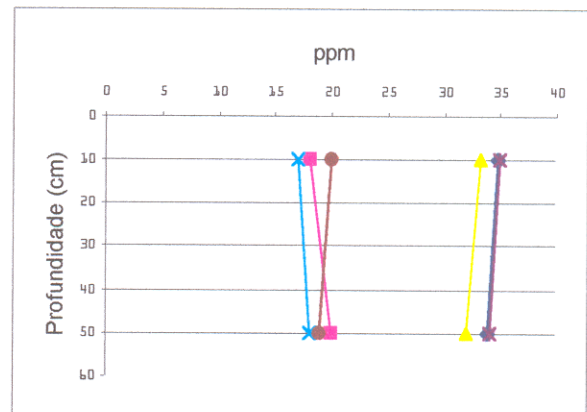
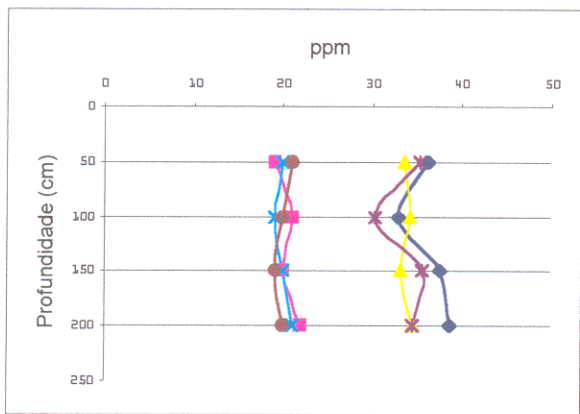
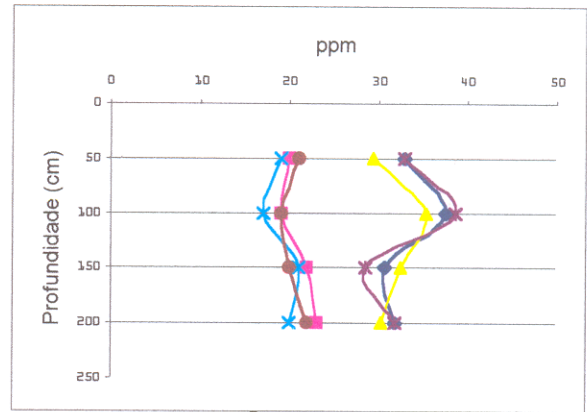
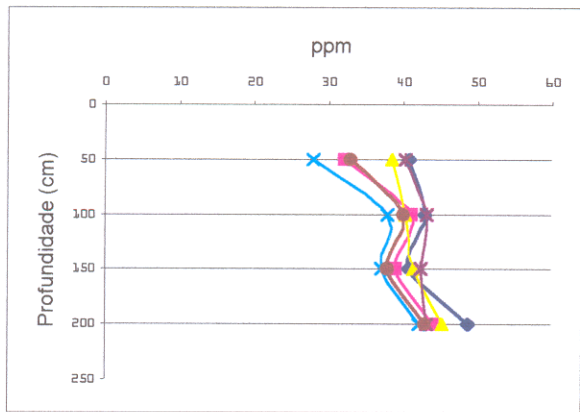
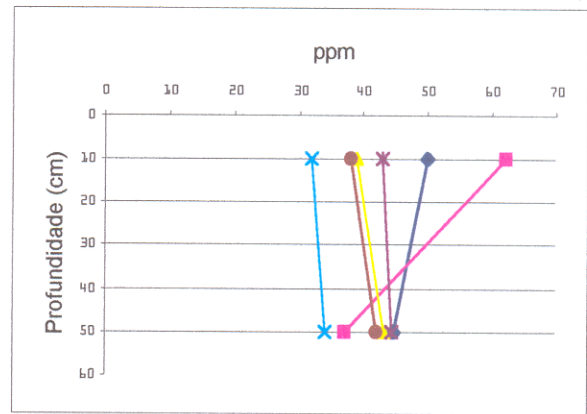
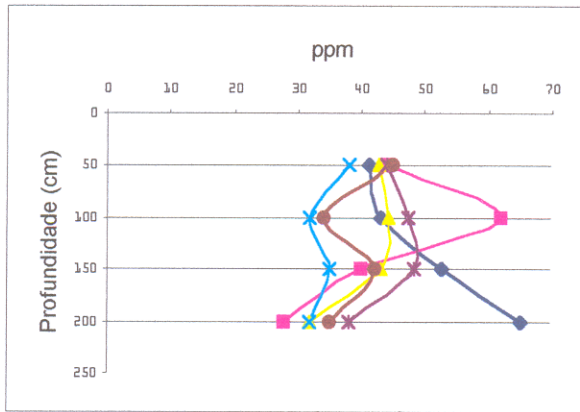
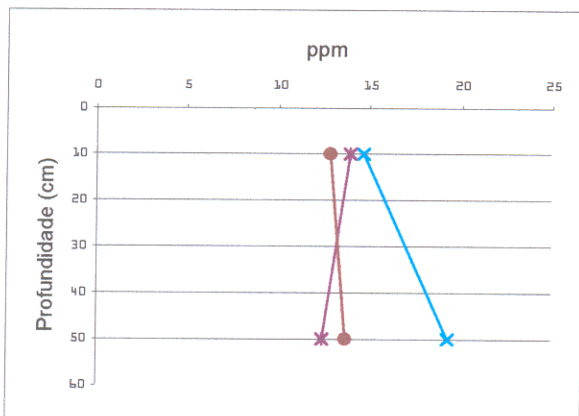
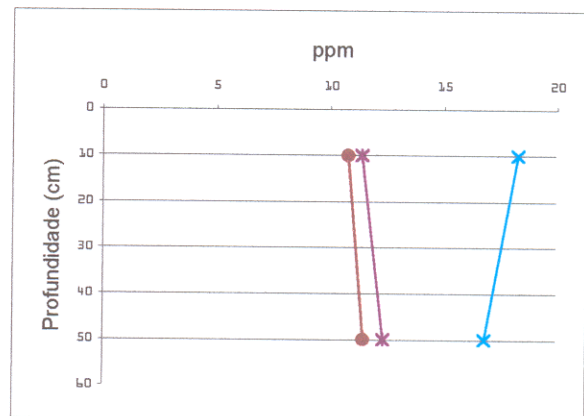
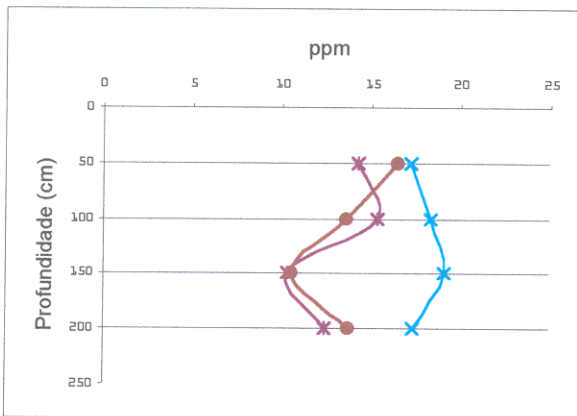
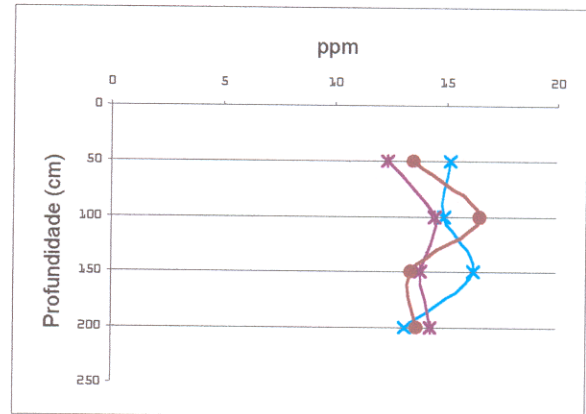
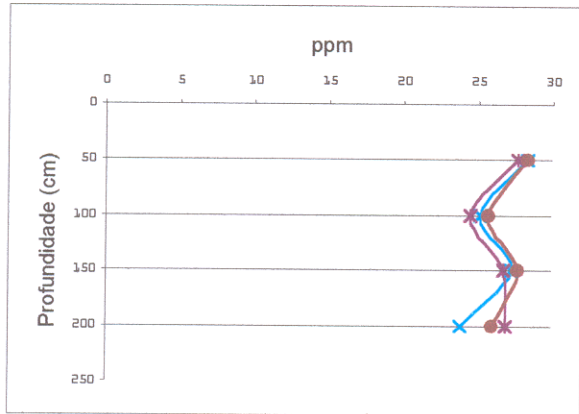
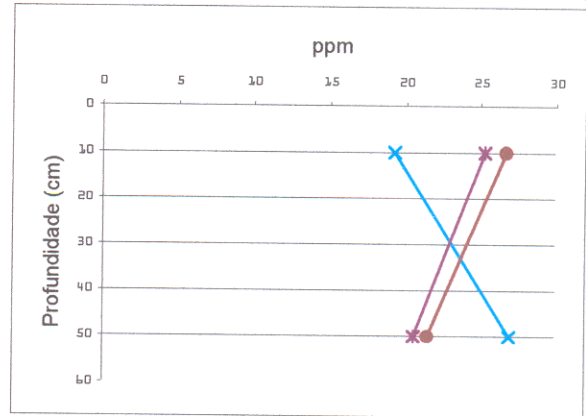
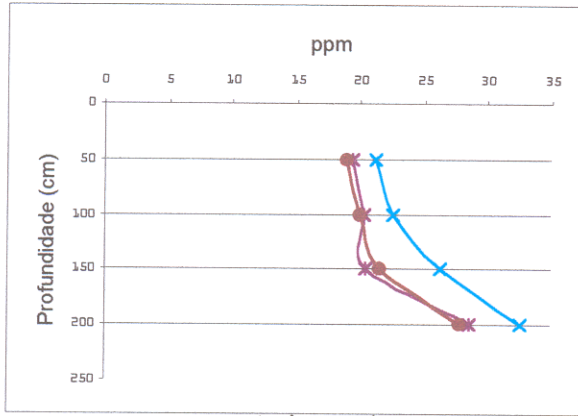
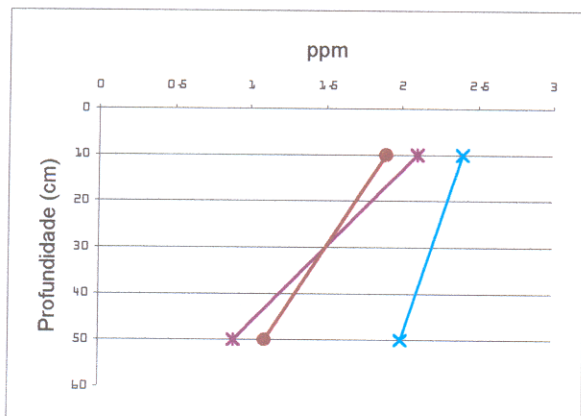
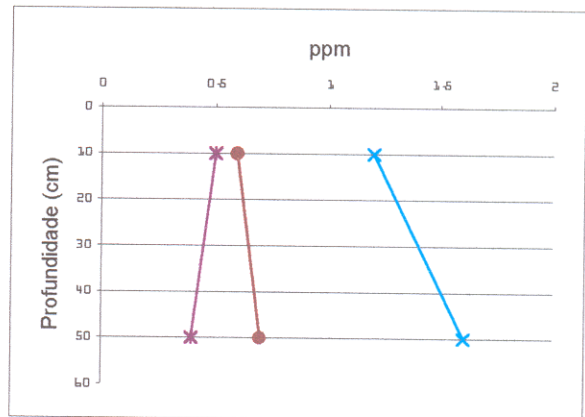
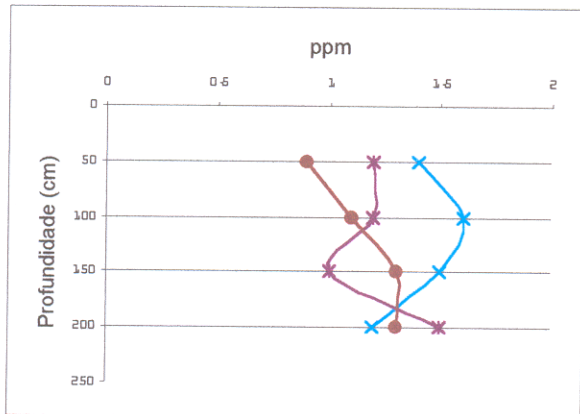
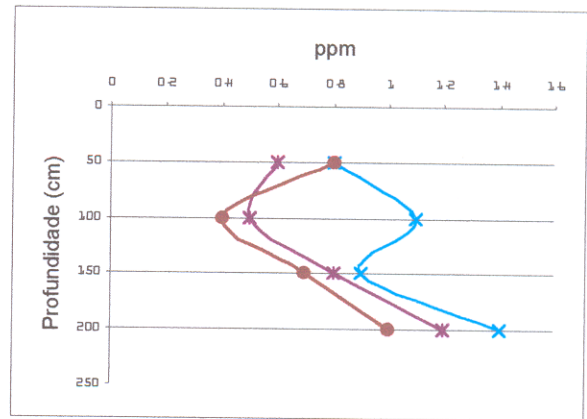
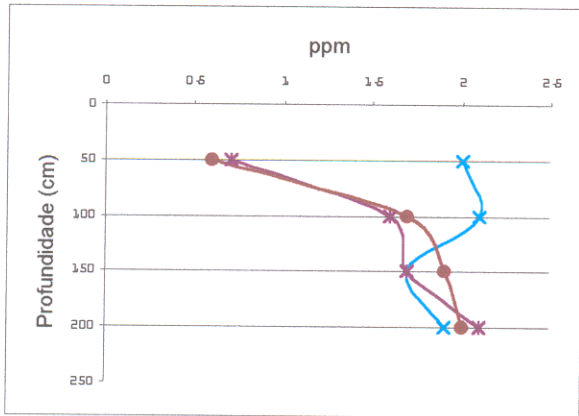
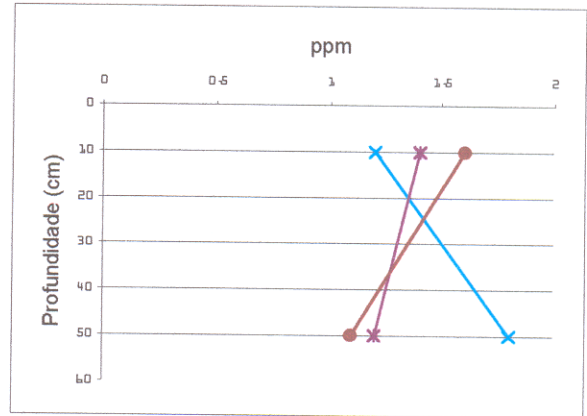
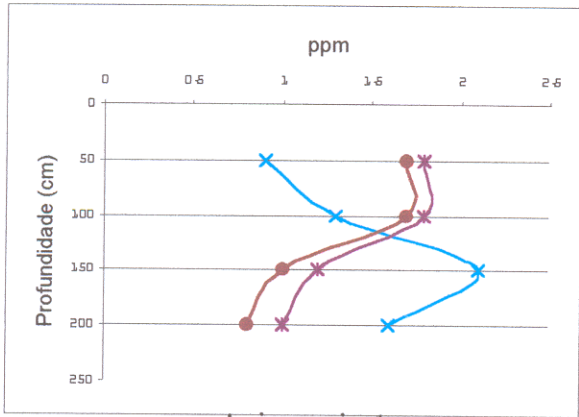


Figura 36 - Gráficos de concentração de Manganês residual e não-residual em sedimento.



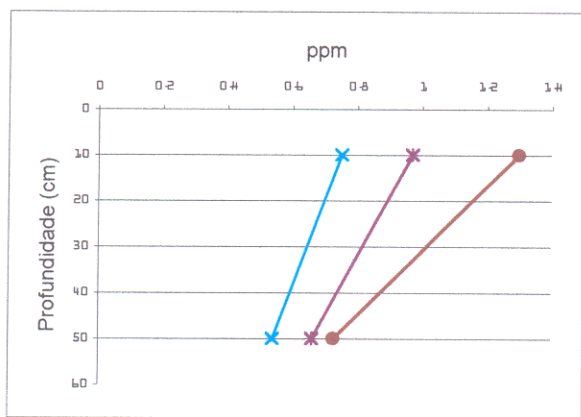
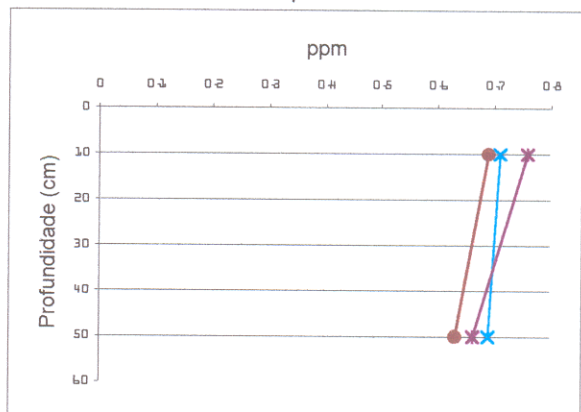
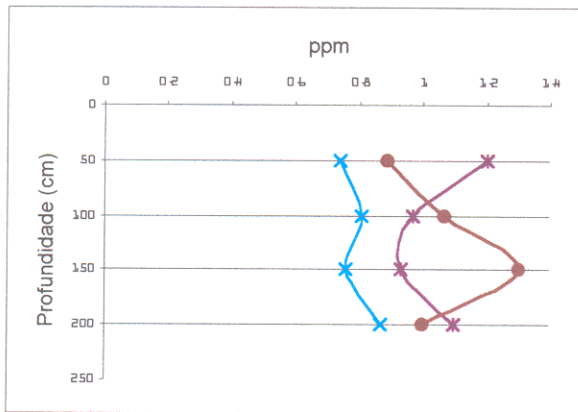
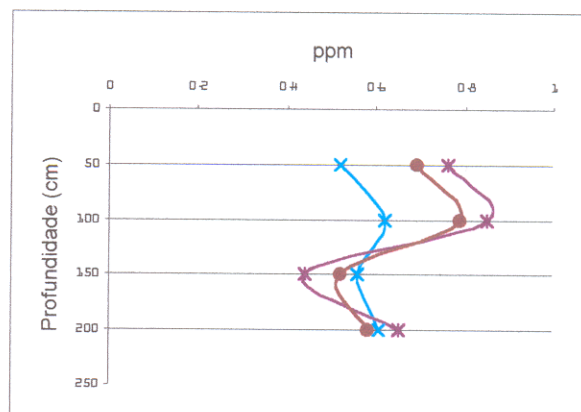
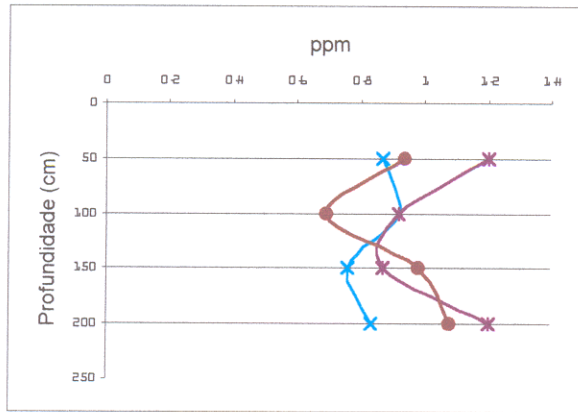
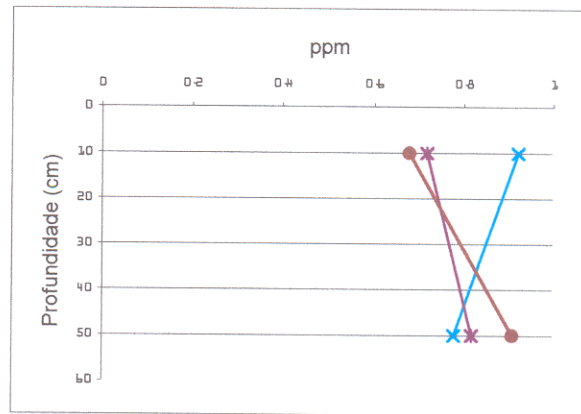
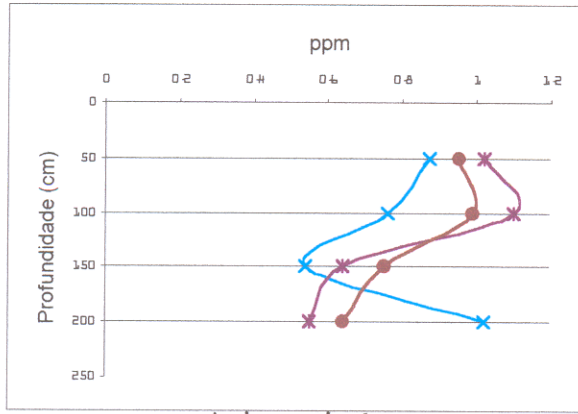
- Novembro de 1998
- Julho de 1999
- Dezembro de 1999

Figura 37 - Gráficos da concentração de Cromo residual em sedimento.



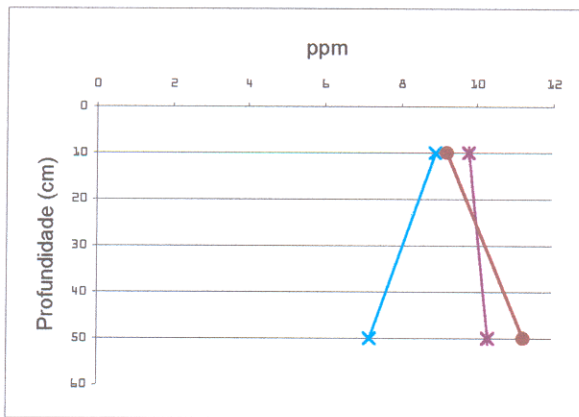
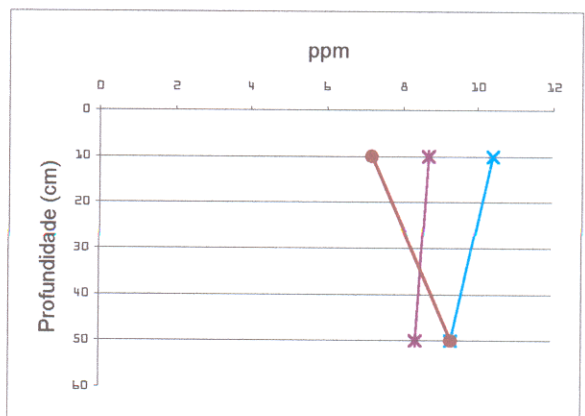
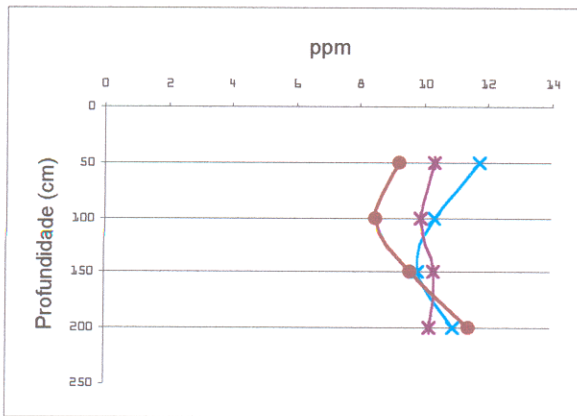
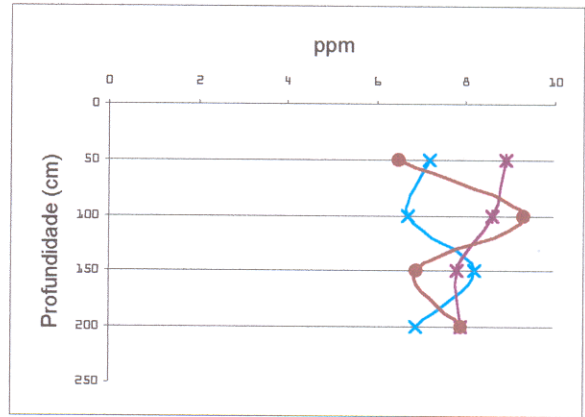
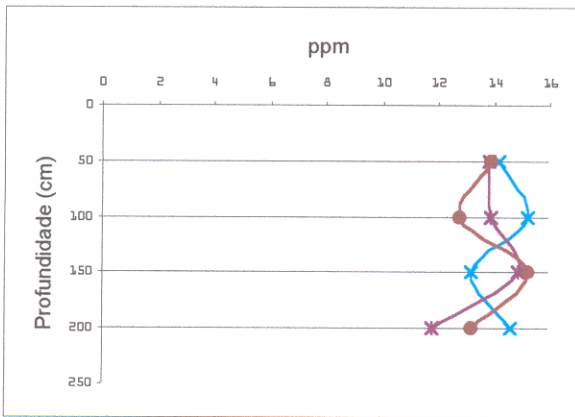
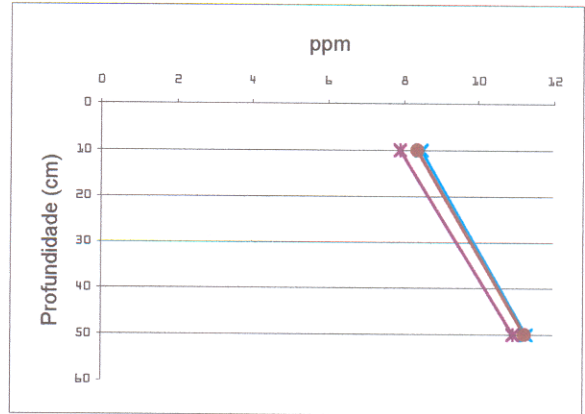
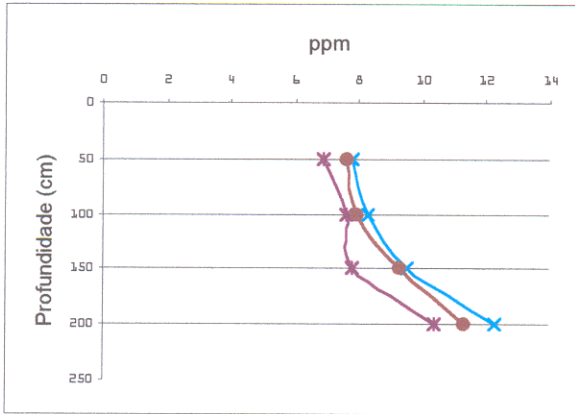
- Novembro de 1998
- Julho de 1999
- Dezembro de 1999

Figura 38 - Gráficos da concentração de Cobre residual em sedimento.



— Novembro de 1998
— Julho de 1999
— Dezembro de 1999

Figura 39 - Gráficos de concentração de Cádmio residual em sedimento.



- Novembro de 1998
- Julho de 1999
- Dezembro de 1999

Figura 40 - Gráficos da concentração de Chumbo residual em sedimento.

Lacerda *et al.*(1986) encontrou correlações altas entre a concentração de sulfeto e outros metais pesados. Dos metais estudados neste trabalho o que apresentou melhores correlações com outros metais foi o Fe, possivelmente devido a formar sulfetos mais facilmente que outros metais (Howard, 1979), sendo que na verdade estas correlações devem-se ao sulfeto propriamente dito e não ao Fe em si. Foram encontradas neste trabalho correlações significativas entre concentração média total de Fe e concentração média total de Pb (Figura 41) e entre o logaritmo da concentração média total de Fe e o logaritmo da concentração média total de Mn (Figura 42).

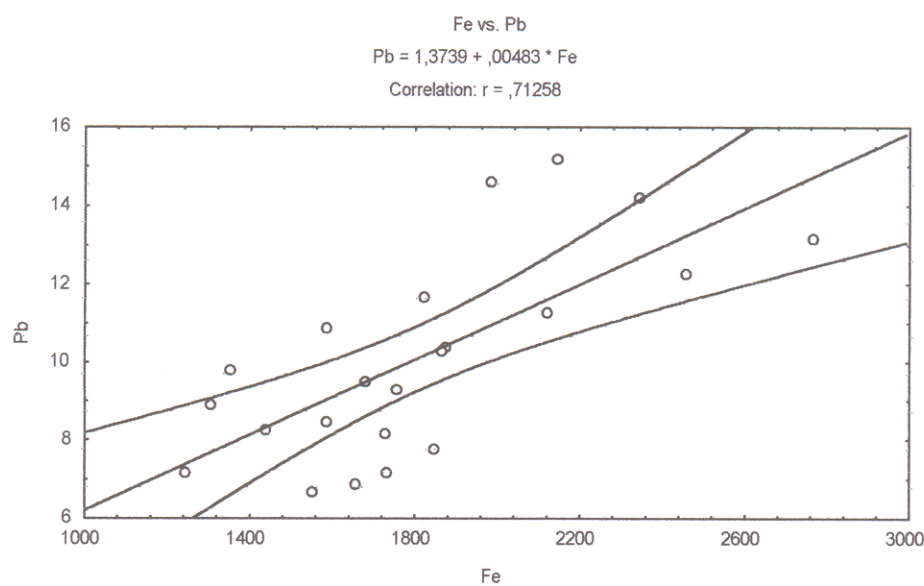


Figura 41 - Gráfico da correlação significativa entre a concentração média total de Fe e a concentração média total de Pb nos sedimentos.

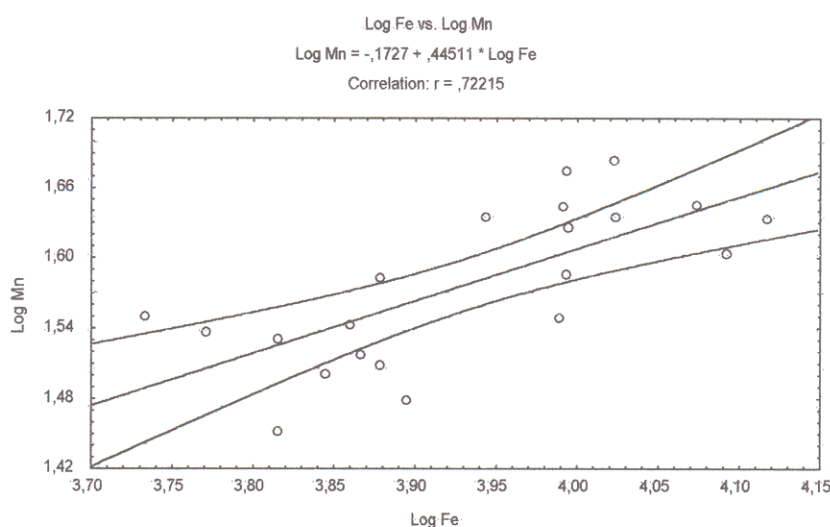


Figura 42 - Gráfico da correlações significativa entre o logaritmo da concentração média total de Fe e o logaritmo da concentração média total de Mn em sedimento.

A razão entre a concentração dos metais nas folhas e suas similares no sedimento produz os fatores de concentração (FC) para os elementos. Na tabela 9, o $FC = 1 - 2,6$ para o Mn indica que ele foi o metal mais móvel nos tecidos de *Avicennia germinans* e sugere um possível mecanismo de absorção pela planta. Embora alguns autores tenham descrito a concentração de metais nas plantas de *Avicennia germinans* e sugerido que elas atuam evitando a absorção de metais pesados, não foi destacado que nestes mesmos trabalhos que a concentração de Mn nas folhas mostrou-se alta e com FCs altos. Sendo assim acreditar na hipótese que as plantas em tal ambiente simplesmente excluem os metais pesados do seu metabolismo, e por isso não são envenenadas é errado.

Muitos dos metais medidos em *Avicennia* estão acumulados nas raízes das árvores. Bowen (1979), e Boring *et al.* (1981) sugerem que plantas de sucessão precoce podem ser mais eficiente como reservatório de nutrientes que as espécies de sucessão tardia, devido a alta produtividade, alta absorção de nutrientes, e retenção preferencial de nutrientes. Este modelo parece se aplicar ao manguezal estudado.

Tabela 9: Fator de concentração de metais pesados nas diversas partes de *Avicennia germinans* (FC = a razão entre média da concentração de metais das folhas e a média da concentração dos metais no sedimento).

Áreas	Ferro			Manganês			Zinco		
	1camp	2camp	3camp	1camp	2camp	3camp	1camp	2camp	3camp
AV2-50	0,02	0,02	0,02	2,63	1,89	1,80	1,13	1,22	0,80
AV1-50	0,02	0,02	0,02	1,98	2,03	2,34	0,95	1,06	1,16
AV1-100	0,03	0,03	0,02	1,80	1,83	2,08	0,86	0,95	1,03
AV1-150	0,02	0,03	0,01	1,52	1,66	1,88	0,73	0,86	0,93
AV1-200	0,02	0,02	0,01	1,65	2,61	2,34	0,79	1,36	1,16
PS-50	0,02	0,02	0,01	1,71	1,41	1,41	0,82	0,77	0,73
PS-100	0,02	0,02	0,01	1,85	1,29	1,19	0,88	0,71	0,62
PS-150	0,01	0,01	0,01	1,60	1,11	1,19	0,77	0,61	0,62
PS-200	0,02	0,02	0,02	1,41	1,03	0,97	0,68	0,57	0,50

É possível então que plantas de *Avicennia germinans* tenham agentes de complexação exclusivos para o Mn, o que torna este mais móvel na planta.

Segundo Ross (1994) as raízes da plantas de manguezal podem causar mudanças nas condições do sedimento e na rizosfera, que influenciam na biodisponibilidade de metais e na sua transferência do solo para a planta. As plantas de manguezal exudam o oxigênio transportado através de sua aeroxima tornando o sedimento anaeróbico. Esse oxigênio transportado, normalmente excede a demanda de oxigênio da raízes, resultando na sua liberação para a rizosfera. Montgomery & Prince (1979) relataram que em condições experimentais as plantas de *Rhizophora Mangle* por meio de suas raízes oxidam o ambiente ao seu redor, Chiu & Chou (1991) comprovaram que o mesmo ocorre em plantas de *Kandelia candel*, Campos & Gallo (1997) estudando plantas de *Rhizophora mangle* e *Avicennia germinans* chegaram a mesma conclusão.

Os dados da Tabela 9 mostram que o Fe e o Zn acumularam-se principalmente nas raízes de *Avicennia germinans*, isso indica que o oxigênio liberado pelas sua raízes oxida o Fe⁺² solúvel,

originário da água intersticial (Thibodeau & Nickerson, 1986), a $\text{Fe}(\text{OH})_3$ insolúvel (Barlett, 1961) que precipita e que é poderoso coprecipitante de outros metais pesados, dando origem a presença constante de placas de Fe nas raízes de *Avicennia germinans* (Otte *et al.*, 1997), que atuam como barreiras geoquímicas para absorção de outros metais na planta (Mendelshon & Postek, 1982). Taniaki (1993) e Lacerda *et al.*, (1995) analisaram essas placas de Fe e observaram que na verdade a alta concentração de metais pesados em raízes de *Rhizophora mangle* e *Avicennia germinans* deve-se a deposição nas placas, e que se esta for retirada da planta, suas raízes não apresentam quantidades elevadas desses metais. Lacerda *et al.*, (1995) observou que cerca de 96% de Fe e 62% de Zn das raízes deve-se as placas de Fe.

6. CONCLUSÃO

Os parâmetros físico-químicos são fortemente influenciados pela cobertura vegetal, sazonalidade, queimadas e quantidade de raízes. As raízes das árvores e os caranguejos produzem buracos nos sedimentos que facilitam a penetração da água e a cobertura vegetal impede que essa água evapore, aumentando a **umidade**. As áreas que contém maior quantidade de árvores são as com maior quantidade de **matéria orgânica**. As raízes de *Avicennia* possuem associados fungos filamentosos que formam uma fina rede que influencia na quantidade de matéria orgânica. A área da Fazenda apresentou menor quantidade média de matéria orgânica, por estar constantemente queimada. O **pH** ácido de todas as áreas, com exceção da Desmatada, é devido a decomposição microbiana da liteira e a hidrólise do tanino das plantas. A **salinidade** é maior na superfície do que em profundidade no período de estiagem, porque a alta radiação solar aumenta a taxa de evaporação da água, concentrando os sais da água intersticial.

As concentrações dos **macronutrientes e sódio** sofrem influência da sazonalidade, absorção pelas plantas e cobertura vegetal, principalmente o K que mostrou comportamento diretamente correlacionado a quantidade de plantas. As áreas de *Avicennia* e Pântano Salino são as que representam melhor este comportamento, por possuírem vegetação. O Ca é adsorvido por argilos-minerais mais facilmente que os outros macronutrientes.

As concentrações de metais pesados em sedimento são baixas em comparação com as ocorrentes em manguezais de outros lugares, refletindo assim valores de background, com exceção da concentração do Fe, que é o metal com maior concentração neste estudo, e acumula-se nas raízes das plantas em forma de placas.

Mn foi o metal mais móvel na planta com fatores de concentração altos, que pode indicar um possível mecanismo de absorção específico de *Avicennia germinans* para o Mn.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, D.C. 1986. *Trace metal in the Terrestrial Environment*. New York, Springer Verlag. 375p.
- AMSTRONG, W. 1978. Root Aeration in the Wetland Condition. *Plant Life in Anaerobic Environmental*, **6**:269-297.
- AUBERT, M. & PINTA, M. 1977. *Trace Elements in Soils*. Amsterdam, Elsevier. 395 p.
- BARLETT, R.I. 1961. Iron Oxidation Proximate to Plant Roots. *Soil Science*, **92**:372-379.
- BINGHAM, F.T.; FENN, L.B.; OERTLI, J.J. 1968. A Sand Culture Study of Chloride Toxicity to Mature Avocado Trees. *Science Society of the Soil*, **32**:249-252.
- BINNI, C.; CORADOSSI, N.; VASELLI, O.; PANCANI, M.G.; ANGELONI, M. 1990. Weathering and Soil Mineral Evolution from Mafic Rocks in Temperate Climate. In: CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 14., Kyoto, p.54.
- BLACK, R.F. 1956. Effects of NaCl in the Water Culture on the Ion Uptake and Growth of *Atriplex hastata* L. Austral. *Journal Science of the Biology*, **9**: 67-80.
- BLANDIT, L. das S. & GLASER, M. 1999. A Escassez do mexilhão (*Mytella sp.*) no manguezal e estuário do Rio Caeté em Bragança. In: MADAM PROJECT - INTERNACIONAL CONFERENCE, 5., Brasil. *Abstract of MADAM project - internacional conference*. Brasil, p. 17-19.
- BLUMENTHAL-GOLDSCHMIDT, S. & POLJAKOFF-MAYBER, A. 1968. Effect of Substrate Salinity on Growth and on Submicroscopic Structure of Leaf Cells of *Atriplex alimus* L. Austral. *Journal of Botanic*, **16**: 469-478.

- BORING, L.R.; MONTE, C. D.; SWANE, W.T. 1981. Early Regeneration of Clear Cut Southern Appalachian Forest. *Ecology*, **62**:1244-1253.
- BOWEN, H.J.M. 1979. *Environmental Chemistry of the Elements*. London, Academic Press. 333p.
- BOYER, J.S. 1965. Effect of Osmotic Water Stress on Metabolic Rates of Cotton Plants with open Stomata. *Plant physiology*, **40**:229:234.
- BROWN, S.L. & HALL, I.R. 1990. *Ecophysiology of Metal Uptake by Tolerant Plants*. Berlin, Springer-Verlag. 104p.
- BRYAN, G. W. 1976. Some Aspects of Heavy Metals Tolerance in Aquatic Organisms. In: LOOCK WOOD, A. P. M. (ed.), *Effects of Pollutans on Aquatic Organisms*. Cambridge University Press, Cambridge, p.7-34.
- CAMPOS, N.H. & GALLO, M.C. 1997. Contenidos de Cd, Cu y Zn em *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* de la Ciénaga Grande de Santa Marta y Bahía de Chengue, Costa Caribe Colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, **79**:73-90.
- CATALDO, D. A.; WILDONG R. E.; GARLAND, T. R. 1987. Speciation of Trace Inorganic Contaminants in Plants and Bioavailability to Animals: An over view. *Journal of Environmental*, **16**(4): 289-295.
- CHIU, C.Y. & CHOU, C.H. 1991. The Distribution and Influence of Heavy Metal in Mangrove Forest on the Tamhui Estuary in Taiwan. *Soil Science Plant Nutrient*, **37**:659-669.

- CINTRON, G. & SCHAEFFER-NOVELLI, 1983. Mangrove Forest: Ecology and Response to Natural and Man Induce Stressors. In: OGDEN, J. C. & GLADFELTER, E. H. (eds). *Coral Reefs, Seagrass Beds and Mangroves: their Interaction in the Coastal Zones of the Caribbean*. UNESCO, 87-109p.
- COSTA, N. dos S.; ISAAC, CH. S.; SAINT-PAUL, U. 1999. Estrutura da comunidade de peixes capturada nos currais do rio Caeté: resultados preliminares. In: MADAM PROJECT - INTERNACIONAL CONFERENCE, 5., Brasil. *Abstract of MADAM project - internacional conference. Brasil*, p. 30-32.
- CUMMING, J.R. & TOMSETT, A.B. 1999. Metal Tolerance In Plants: Signal Transduction and Acclimation Mechanisms. In: ADRIANO, D.C. (ed.) *Biogeochemistry of Trace Metal*. EUA. Lewis. 512p.
- DAMÁSIO, E. 1980. *Contribuição ao Conhecimento da Vegetação dos Manguezais da Ilha de São Luis*. Maranhão. v. 1 e 2, 57p.(Boletim do Laboratório de Hidrobiologia).
- DE TEMMERMAN, L.O.; ISTAS, J.R.; HOENIG, M.; DUPIRE, S.; LEDENT, G.; VAN ELSSEN, Y.; BAETEN, H.; De MAYER, A. 1982. Définition des Teneurs 'Normales' des Éléments em Trace de Certains Sols Belges em Tant Que Critère de Base Pour de la Pollution des Soles en Général. *Reviste Agricola*, **35**(2): 1915-1944.
- DIELE, K.1999. Population Ecology of the Exploited Mangrove Crab *Ucides Cordatus*. In: MADAM PROJECT - INTERNACIONAL CONFERENCE, 5., Brasil. *Abstract of MADAM project - internacional conference. Brasil*, p. 43-37.
- DREGNE, H.E. 1963. Soil of the Arid West . In: HODGE, C. & DUISBERG, P.C. (eds.). *Aridity and Man - The Challenge of the Arid Lands in the United States*. Washington, American Association for the Advancement of Science. 215-238p.

- EL-ROBRINI, M. & SOUZA FILHO, P.W. 1996. A Planície Costeira Bragantina (NE do estado do Pará). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5., Belém. *Anais do simpósio de Geologia da Amazônia*. Salvador : SBG. v.1, p.412-423.
- ELDERFIELD, H.; HEPWORTH, A.; EDUARDES, P.N.; HOLLIDAY, L.M. 1979. Zinc in the Conway River and Estuary. *Estuarine Coastal Marine Science*, 9:403-422.
- ENGLER, R.M. & PATRICK JR., W.H. 1975. Stability of Sulfides of Manganese, Iron, Zinc, Copper and Mercury in Flooded and Nonflooded Soils. *Soil Science*, 119:217-221.
- EPTAIN, E. 1975. *Nutrição Mineral das Plantas: Princípios e Perspectivas*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. 344p.
- FÖRSTNER, V. & SALOMONS, W. 1984. *Metal in the Hydrocycle*. Berlin, Springer-Verlag. 349p.
- FROIS-ABREU, S. 1939. Observações sobre a Guiana Maranhense. *Revista Brasileira de Geologia*, 6:26-54.
- FURUKAWA, K. & WOLANSKI, E. 1996. Sedimentation in Mangrove Forests. *Mangrove and Salt Marshes*, 1:3-10.
- GIBLIN, A.E.; LUTHER III, G.W.; VALIELA, I. 1986. Trace Metal Solubility in Salt Marsh Sediments Contaminated with Sewage Sludge. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 23:477-498. *colocar a página na linha de baixo*
- GROOT, A.J.; SOLOMONS W.; ALLERMA, E. 1976. Processes Affecting Heavy Metal in Estuarine Sediment. In: BURTON, J.D. & LISS, P.S. (eds.) *Estuarine Chemistry*. London, Academic Press. 131-157p.

HOWARTH, R.H. 1979. Pyrite: Its Rapid Formation in a Salt Marsh and its Importance in Ecosystem Metabolism. *Science*, **203**:49-51.

KAZDA, M. & GLATZEL, G. 1984. Schwerkmetallaureicherung und Sckwermetallvergugbarkeit im Einsiekerungsbereich von Stammablausfawsser in Buchenwaldern des Wienerwaldes. *Z. Pflanzenernaehr Bodenkd*, **147**:743-752.

KILHAM, P. 1980. Mechanisms Controlling the Chemical Composition of Lakes and Rivers. *Africa Limnol Oceanographic*, **35**:80-83.

KRAMER, P.J. 1976. *Plant and Soil Water Relationship: A Modern Synthesis*. New York, Macgraw-Hill Book Company. 132p.

LACERDA, L.D. 1997. Trace Metal in Mangrove Plants: Why Such Low Concentrations? In: KJERFVE, B.; LACERDA, L.D.; DIOP, E.H.S (eds) *Mangrove Ecosystem Studies in Latin America and Africa*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers. p.171-178.

LACERDA, L. D. & ABRÃO, J. J. 1984. Heavy Metal Accumulation by Mangrove and Salt Marsh intertidal Sediments. *Revista Brasileira de Botânica*, **7**: 49-52.

LACERDA, L. D.; CARVALHO, C. E. V.; TANIZAKI, K. F.; OVALLE, A. R. C.; REZENDE, E. 1993. The Biogeochemistry and Trace Metals Distribution of Mangrove Rhizospheres. *Biotropica*, **25**:252-257.

LACERDA, L.D.; FREIXO, J. L.; COELHO, S.M. 1995. The Effect of *Spartina alterniflora* Loisel on Trace Metal Accumulation Intertidal Sediments. *Mangrove and Salt Marsh*, **2**:201-209.

colocar a paginaçs pl a linha de baixo
201 - 209

- LACERDA, L. D.; MARTINELLI, L. A.; REZENDE, C. E.; MAZETO, A.A.; OVALLE, A. R. C.; VICTORIA, R. L.; SILVA, C. A. R.; NOGUEIRA, A. B. 1988. The Fate Trace Metals in Suspended Matter in a Mangrove Creek During a Tidal Cycle. *Science Environmental*, **75**: 169-180.
- LACERDA, L. D.; RESENDE, C. D.; VILLELA, M.; FERNÁNDEZ, M. C. 1986. Metallic Composition of Mangrove Leaves from the Southeastern Brazilian Coast. *Revista Brasileira de Biologia*, **46**:395-399.
- LACERDA, L. D. ; RESENDE, C. E.; JOSÉ, D. V.; WASSERMAN, J. C.; FRANCISCO, M. C. 1985. Mineral Concentration in Leaves of Mangrove Trees. *Biotropica*, **17**:260-262.
- LAGERWERFF, J.D. 1969. Osmotic Growth Inhibition and Electrometric Salt Tolerance Evaluation of Plants. *A Review and Experimental Assessment. Plant and Soil*, **31**:77-96.
- LIAO, J. 1990. The Chemical Properties of the Mangrove Solonchak in the Northeast Part of Hainan Island. *Acta Scientiarum Naturalium*, **9**:67-72.
- LOLA, A. C.; SOUZA FILHO, J.D.; COSTA, R.B. 1999. Estudo de Variações Meteorológicas Provocadas pela Degradação de Manguezais na Região Bragantina- PA. In: MADAM PROJECT - INTERNACIONAL CONFERENCE, 5., Brasil. *Abstract of MADAM project - internacional conference*. Brasil. p. 60-62.
- MACNULTY, I. 1969. The Effect of Salt Concentration on the Growth and Metabolism of a Succulent Halophyte. In: HOFF, C.C. & RIEDESEL, M.L.(eds.) *Physiological Systems in Semiarid Environments*. Albuquerque, University of New Mexico Press. p.255-262.
- MALAVOLTA, E. 1980. *Elementos de Nutrição Mineral de Plantas*. São Paulo, Editora Agronômica Ceres. 251p.

- MENDELSSHON, I. A. & POSTEK, M.T. 1982. Elemental Analysis of Deposits on the Root a of *Spartina alterniflora* Loisel. *American Journal of Botany*, **69**:904-912.
- MONTGOMERY, I.R. & PRINCE, M.T. 1979. Release of Trace Metal by Sewage Sludge and the Subsequent Uptake by Members of a Turtle Gram Mangrove Ecosystem. *Environmental Science & Technology*, **13**:546-549.
- MORALES, G.P. 1997. *Distribuição de Metais Pesados e Hidrocarbonetos Poliaromáticos em Sedimentos de Fundo do Rio Magdalena e Bogotá*. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 116p. (Tese de Mestrado).
- MORÉ, E. & COPPENET, M. 1980. Teneurs au Se des Plants Fourrageres. Influence de la Fertilization et des Apport de Sélénite. *Annual Agronomic*, **31**: 297-317.
- ODUM, W.E. & DRIFMEYER, J.E. 1978. Sorption of Pollutants by Plants Detritus: A Review. *Environmental Health perspectives*, **27**:133-137.
- OTTE, M.L. 1991. Contamination of Coastal Wetlands with Heavy Metal: Factors Affecting Uptake of Heavy Metals by Salt Marsh Plants. In: ROZEMA, J. & VERKLEIJ, J.A.C. (eds.) *Contamination of Heavy Metal*. Netherlands. Kluwer Academic Publishers, p.126-133.
- OTTE, M.L.; BUIJS, E.P.; RIEMER, L.; ROZEMA, J.; BROEKMAN, R.A. 1987. The Iron-Plaque on the Roots of Salt Marsh Plants: A Barrier to Heavy Metal uptake? In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF HEAVY METAL IN THE ENVIRONMENTAL, 6Th. v.2, p.407-409.
- OTTE, M.L.; KEARNS, C.C.; DOYLE, M.O. 1993. Relation Between Heavy Metal Concentrations in Salt Marsh Plants and Soil. *Environmental Pollution*, **82**:13-22.

- OTTE, M.L.; MACKEE, K.L.; MENDELSSONH, I.A. 1997. Effects of Tidal Inundation and Predation on *Avicennia germinans* Seedling Establishment and Survival in a Sub-tropical Mangal/Salt Marshes Community. *Mangrove and Salt Marsh*, **3**:103-111.
- PIGGOTT, C.D. 1969. Influence of Mineral Nutrition on the Zonation of Flowering Plants in Coastal Salt-Marshes. In: RORISON, I.H. (ed). *Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants*. Oxford. Blackwell Scientific Publications, p.25-35.
- PONAMPERUMA, F.N. 1972. *The Chemistry of Submerged Soils in Relation to the Growth and Yield of Rice*. EUA. Cornell University. 231p. (Ph. D. Thesis).
- PRANCE, N.R. MaCginnis, J.T., Clements, R.G., Child, G.I. & Duever, H. J. 1986. *Ciclagem mineral em um ecossistema de floresta tropical úmida*. São Paulo, Edusp. 342p.
- RAE, J.E. 1997. Trace Metal in Deposited Intertidal Sediments. In: JICKELLS, T.D. & RAE, J.E.(eds.) *Biogeochemistry of Intertidal Sediments*. Canada, Cambridge University Press. p.1-15.
- RAMANATHAN, A.L.; SUBRAMANIAN, V.; RAMESH, R.; CHIMDAMBARAM, S.; JAMES, A. 1999. Environmental Geochemistry of the Pichavaram Mangrove Ecosystem (tropical), Southeast Coast of India. *Environmental Geology*, **37**(3): 223-233.
- ROSS, S.M. 1994. Toxic Metals: Fate and Distribution in Contaminated Ecosystems. *Toxic Metals in Soil-Plant Systems*, **3**:189-235.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. & CINTRON, G. 1986. *Guia para Estudo de Áreas de Manguezal: Estrutura, Função e Flora*. São Paulo, Caribbean Ecological Research. 150p.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. & CINTRON, G. 1990. Status of Mangrove Research in Latin America and the Caribbean. São Paulo. *Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo*, **38** (1): 93-97.

SILVA, C.A.R.; LACERDA, L.D.; REZENDE, O.R. 1990. Metals Reservoir in a Red Mangrove Forest. *Biotropica*, **22**:339-345.

SOUZA, S.R.A. 1987. *Estudo da Matéria Orgânica em Sedimentos do Manguezal de Coroa Grande - Baía de Sepetiba*. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense. Instituto de Química. 98p. (Tese de mestrado).

SOUZA FILHO, P.W.M. 1995. *Influência das Variações do Nível do Mar na Morfoestratigrafia da Planície Costeira Bragantina (NE do Pará) durante o Holoceno*. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 123 p. (Tese de Mestrado).

SOUZA FILHO, P.W.M & EL-ROBRINI, M. 1996. Morfologia, Processos de Sedimentação e Litofáceis dos Ambientes Morfo-sedimentares da Planície Costeira Bragantina, Nordeste do Pará, Brasil. *Geonomos*, **4** (2): 1-16.

ST-CYR, L. & CROWDER, A.A. 1990. Manganese and Copper in the Root Plaque of *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Stendel. *Soil Science*, **149**: 191-198.

TANIAKI, K.F. 1993. *Biogeoquímica da Rizosfera de Plantas de Mangue*. Niterói: Universidade Federal Fluminense. Departamento de Geoquímica. 241p. (Tese de mestrado).

THIBODEAU, F.R. & NICKERSON, N.H. 1986. Differential Oxidation of the Mangrove Substrate by *Avicennia germinans* e *Rhizophora mangle*. *American Journal of Botany*, **73**:512-516.

THOMAS G. & FERNANDEZ T.V. 1997. Incidence of Heavy Metals in the Mangrove Flora & Sediments in Kerala, India. *Hydrobiologia*, **352**:77-87.

TJELL, J.C. & HOVMAND, M.F. 1978. Metal Concentrations in Danish Arable Soils. *Acta Agricultura*, **28**:81-89.

- TOMLINSON, D.L. 1980. *Problems in the Assessment of Heavy Metal Levels in Estuaries and the Formation of a Pollution Index*. EUA, Helgol Meeresunters. 575p.
- TURNER R.E. 1976. Geographic Variations in Salt Marshes. *Macrophyte Production: A Review*, **22**: 47-68.
- VINOGRADOV, A. P. 1959. *The Geochemistry of Rare and Dispersed Chemical Elements in Soils*. New York, Springer-Verlag. 134p.
- WARREN, J.C. & CHEATUM, S.G. 1966. Effect of the Neutral Salts on Enzyme Activity and Structure. *Biochemistry*, **5**: 1702-1707.
- YIM, M.W. & TAM, N.F.Y. 1999. Effects of Wastewater-borne Heavy Metal on Mangrove Plants and Soil Microbial Activities. *Marine Pollution Bulletin*, **39**:179-186.
- ZÖETTL, H.W. & HETTL, R.F. Nutrient Supply and Forest Decline in Southwest Germany. *Water Air Soil Pollut*, **31**:449-462.

ANEXOS

Tabela I - Parâmetros físicos químicos em todas as campanhas nos sedimentos e água intersticial.

amostra	pH			Umidade(%)			Salinidade(‰)			Matéria orgânica (%)		
	nov/98	jul/99	dez/99	nov/98	jul/99	dez/99	nov/98	jul/99	dez/99	nov/98	jul/99	dez/99
AV2-10	7,69	8,03	7,28	46,18	46,18	50	45,2	57,4	48,3	12,65	10,63	10,21
AV2-50	7,29	7,61	7,05	55,63	55,63	37	32,2	54,6	38,2	11,57	11,48	8,76
AV1-50	7,19	7,25	7,67	57,17	57,17	62	75,6	97,0	41,04	10,89	10,65	9,32
AV1-100	7,25	6,34	6,8	46,32	46,32	74	69,5	83,2	52,3	11,65	11,82	9,46
AV1-150	6,02	7,25	6,19	42,75	42,75	51	63,2	78,7	48,3	11,79	12,45	10,16
AV1-200	4,23	5,03	5,77	35,52	35,52	66	50,6	69,4	39,47	8,9	8,17	8,05
PS-50	6,87	5,41	7,18	45,71	45,71	97	52,3	70,3	31,4	10,83	10,76	10,02
PS-100	7,21	5,95	7,17	47,21	47,21	117	63,2	73,5	44,32	11,98	11,74	9,87
PS-150	7,82	6,24	8,16	48,94	48,94	70	62,9	83,4	42,2	12,36	12,21	9,45
PS-200	7,42	5,73	6,03	49,45	49,45	79	64,3	89,3	43,52	12,55	12,75	9,76
CA-50	4,84	5,24	5,28	35,19	35,19	49	35,8	39,8	16,1	8,12	8,55	8,28
CA-100	4,47	5,14	5,55	40,49	40,49	43	36,8	40,47	17,4	8,66	9,08	8,74
CA-150	4,42	5,67	5,83	48,14	48,14	40	37,2	42,28	18,0	9,74	9,16	9,81
CA-200	4,53	6,12	4,21	48,34	48,34	44	36,3	45,02	22,4	8,2	8,02	8,16
FA1-10	7,04	6,9	6,82	48,86	48,86	38	23,4	35,9	31,99	11,92	11,26	8,38
FA1-50	4,02	6,28	6,95	42,93	42,93	37	25,3	36,7	37,98	10,52	10,49	8,79
FA2-50	5,4	4,15	6,34	43,92	43,92	29	27,7	38,3	42,3	9,68	9,38	9,63
FA2-100	6,1	7,84	5,67	44,53	44,53	46	32,4	37,2	43,54	9,79	10,57	8,92
FA2-150	7,75	7,68	6,56	39,32	39,32	90	42,5	39,4	44,2	9,95	10,98	10,05
FA2-200	8,4	8,82	7,96	51,53	51,53	71	54,5	44,2	45,35	13,90	12,51	12,3
DE-10	7,98	7,98	7,46	45,4	45,4	84	77,2	96,2	50,87	12,09	9,23	12,09
DE-50	8,17	8,38	7,89	57,93	57,93	74	89,2	60,7	42,3	13,79	10,39	12,34

Tabela II - Concentração de metais pesados na fase residual e não residual em novembro de 1998 nos sedimentos (ppm).

Amostra	Fe-res	Fe-troc	Mn-res	Mn-troc	Zn-res	Zn-troc	Cr-res	Pb-res	Cu-res	Cd-res
AV2-10	13100	1581	49,8	62	18,9	10	19,3	8,5	1,2	0,92
AV2-50	12243	2119	44,7	37	23,5	8	26,9	11,3	1,8	0,78
AV1-50	7998	1843	41,2	44	16,9	10	21,2	7,8	0,9	0,87
AV1-100	8796	1436	43,1	62	16,6	11	22,6	8,3	1,3	0,76
AV1-150	9835	1676	52,5	40	17,3	13	26,3	9,5	2,1	0,54
AV1-200	11762	2453	65	28	23,6	12	32,6	12,3	1,6	1,02
PS-50	12749	2342	40,7	32	20,8	14	28,3	14,2	2	0,87
PS-100	10672	2143	42,9	41	19,7	13	25,1	15,2	2,1	0,92
PS-150	11392	2761	40,7	39	20,7	15	27,2	13,2	1,7	0,76
PS-200	9402	1982	48,7	44	22,8	17	23,8	14,6	1,9	0,83
CA-50	6208	1732	32,8	20	15,4	8	15,2	7,2	0,8	0,52
CA-100	7362	1548	37,4	19	17,5	7	14,9	6,7	1,1	0,62
CA-150	6758	1723	30,8	22	15,3	10	16,2	8,2	0,9	0,56
CA-200	5962	1653	31,9	23	16,2	11	13,2	6,9	1,4	0,61
FA1-10	6593	1871	34,7	18	17,3	10	18,3	10,4	1,2	0,71
FA1-50	5084	1753	33,9	20	16,8	7	16,8	9,3	1,6	0,69
FA2-50	6250	1821	36,2	19	17,9	11	17,2	11,7	1,4	0,74
FA2-100	7308	1862	32,9	21	16,7	10	18,3	10,3	1,6	0,81
FA2-150	5983	1352	37,5	20	18,3	12	19,1	9,8	1,5	0,76
FA2-200	6082	1582	38,6	22	17,3	14	17,3	10,9	1,2	0,87
DE-10	7897	1305	49,3	48	32,2	14	14,7	8,9	2,4	0,75
DE-50	8362	1241	35,7	16	20,1	17	19,3	7,2	2	0,54

Tabela III - concentração de metais pesados na fase residual e não residual em Julho de 1999 nos sedimentos (ppm).

amostra	Fe-res	Fe-troc	Mn-res	Mn-troc	Zn-res	Zn-troc	Cr-res	Pb-res	Cu-res	Cd-res
AV2-10	13100	1581	49,8	62	18,9	10	19,3	8,5	1,2	0,92
AV2-50	12243	2119	44,7	37	23,5	8	26,9	11,3	1,8	0,78
AV1-50	7998	1843	41,2	44	16,9	10	21,2	7,8	0,9	0,87
AV1-100	8796	1436	43,1	62	16,6	11	22,6	8,3	1,3	0,76
AV1-150	9835	1676	52,5	40	17,3	13	26,3	9,5	2,1	0,54
AV1-200	11762	2453	65	28	23,6	12	32,6	12,3	1,6	1,02
PS-50	12749	2342	40,7	32	20,8	14	28,3	14,2	2	0,87
PS-100	10672	2143	42,9	41	19,7	13	25,1	15,2	2,1	0,92
PS-150	11392	2761	40,7	39	20,7	15	27,2	13,2	1,7	0,76
PS-200	9402	1982	48,7	44	22,8	17	23,8	14,6	1,9	0,83
CA-50	6208	1732	32,8	20	15,4	8	15,2	7,2	0,8	0,52
CA-100	7362	1548	37,4	19	17,5	7	14,9	6,7	1,1	0,62
CA-150	6758	1723	30,8	22	15,3	10	16,2	8,2	0,9	0,56
CA-200	5962	1653	31,9	23	16,2	11	13,2	6,9	1,4	0,61
FA1-10	6593	1871	34,7	18	17,3	10	18,3	10,4	1,2	0,71
FA1-50	5084	1753	33,9	20	16,8	7	16,8	9,3	1,6	0,69
FA2-50	6250	1821	36,2	19	17,9	11	17,2	11,7	1,4	0,74
FA2-100	7308	1862	32,9	21	16,7	10	18,3	10,3	1,6	0,81
FA2-150	5983	1352	37,5	20	18,3	12	19,1	9,8	1,5	0,76
FA2-200	6082	1582	38,6	22	17,3	14	17,3	10,9	1,2	0,87
DE-10	7897	1305	49,3	48	32,2	14	14,7	8,9	2,4	0,75
DE-50	8362	1241	35,7	16	20,1	17	19,3	7,2	2	0,54

Tabela IV - concentração de metais pesados na fase residual e não residual em Dezembro de 1999 nos sedimentos (ppm).

Amostra	Fe-res	Fe-troc	Mn-res	Mn-troc	Zn-res	Zn-troc	Cr-res	Pb-res	Cu-res	Cd-res
AV2-10	13088	2003	43	38	19,3	13	26,7	8,4	1,6	0,68
AV2-50	11842	2410	44,3	42	20,3	10	21,5	11,2	1,1	0,91
AV1-50	9785	2142	44,1	45	22,6	8	18,9	7,6	1,7	0,95
AV1-100	9835	1539	47,3	34	21,8	9	19,9	7,9	1,7	0,99
AV1-150	10532	2365	48,3	42	22,4	10	21,5	9,3	1	0,75
AV1-200	16782	2983	38	35	20,3	8	27,8	11,3	0,8	0,64
PS-50	12354	2542	40,2	33	21,6	11	28,3	13,9	0,6	0,94
PS-100	8764	2387	43,2	40	22,4	13	25,6	12,8	1,7	0,69
PS-150	9864	2864	42,3	38	22,3	13	27,6	15,2	1,9	0,98
PS-200	10546	2087	43,2	43	15,6	16	25,9	13,2	2	1,08
CA-50	7340	1687	33	21	18,8	9	13,5	6,5	0,8	0,69
CA-100	9824	1687	38,6	19	17,9	10	16,5	9,3	0,4	0,79
CA-150	6532	1672	28,4	20	16,9	7	13,4	6,9	0,7	0,52
CA-200	6984	1703	31,8	22	17,3	7	13,7	7,9	1	0,58
FA1-10	7243	1785	34,9	20	15,8	8	10,8	7,2	0,6	0,69
FA1-50	6532	1743	34	19	18,4	8	11,5	9,3	0,7	0,63
FA2-50	9735	1873	35,4	21	19,3	9	16,4	9,2	0,9	0,89
FA2-100	7834	1804	30,2	20	18,7	9	13,6	8,5	1,1	1,07
FA2-150	5398	1297	35,6	19	18,9	11	10,5	9,6	1,3	1,3
FA2-200	5893	1487	34,5	20	21,1	13	13,7	11,4	1,3	1
DE-10	7548	1453	32,3	32	13,6	8	12,8	9,2	1,9	1,3
DE-50	7543	1298	38,3	34	19,8	10	13,7	11,2	1,1	0,73

Tabela V - Concentração de macronutrientes e sódio na água intersticial

AMOSTRA	Ca			K			Na			Mg		
	Nov/98	Jul/99	Dez/99	Nov/98	Jul/99	Dez/99	Nov/98	Jul/99	Dez/99	Nov/98	Jul/99	Dez/99
	AV2-10	543	364	1897	285	407	308	25983	16231	25987	1597	920
AV2-50	432	344	1210	318	379	410	19450	15956	23176	1634	881	2189
AV1-50	487	395	1394	297	418	327	18972	16543	24842	1597	895	2197
AV1-100	452	342	1274	355	424	367	17936	16438	22397	1539	834	1975
AV1-150	395	332	1103	375	439	423	17509	16108	21879	1483	765	1865
AV1-200	342	298	945	394	420	473	16936	15783	19453	1395	694	1852
PS-50	496	347	1629	310	402	321	21863	17684	21764	1694	1034	2196
PS-100	438	324	1568	334	474	375	19473	17573	19534	1548	978	1957
PS-150	396	309	1439	385	489	429	19542	16984	18967	1485	932	1860
PS-200	356	296	1390	405	521	476	18648	16348	15603	1486	874	1398
CA-50	648	421	2218	674	389	538	23657	17649	23749	2540	1754	2383
CA-100	589	398	1964	689	414	598	20946	17046	22840	2390	1659	2281
CA-150	576	365	1850	755	458	630	19745	16953	21089	2190	1578	1974
CA-200	499	295	1764	852	538	683	19058	16540	20846	1973	1503	1933
FA1-10	764	463	1204	549	486	539	32896	23576	31745	2487	1967	2286
FA1-50	749	398	1385	587	438	598	31874	22056	32096	2378	1834	2109
FA2-50	694	473	1390	643	386	604	30285	21067	32907	2274	1769	1952
FA2-100	645	420	1429	694	376	756	30786	19867	33869	2065	1659	1706
FA2-150	589	398	1509	704	302	745	27659	18640	33857	1964	1650	1734
FA2-200	520	374	1555	754	297	894	25879	18206	34872	2097	1543	1685
DE-10	839	468	973	1191	419	2895	55387	30048	40174	3697	2098	2696
DE-50	909	509	849	1203	383	2458	48673	27279	34185	3198	1985	2298

Tabela VI - Granulometria em todas as áreas.

	argila	silte	Areia
AV-10	49,52	48,17	2,31
AV-50	52,34	46,12	1,54
AV-100	53,82	44,82	1,36
AV-150	50,78	48	1,22
AV-200	53,96	44,84	1,2
PS-10	48,72	48,71	1,12
PS-50	50,31	48,71	0,98
PS-100	52,14	47,5	0,36
PS-150	53,19	46,71	0,1
PS-200	53,97	46,03	0
CA-10	45,33	52,21	2,46
CA-50	42,18	55,3	2,52
CA-100	43,76	54,08	2,16
CA-150	44,82	53,17	2,01
CA-200	44,94	53,9	1,16
FA-10	52,16	45,5	2,34
FA-50	53,18	44,61	2,21
FA-100	53,76	44,08	2,16
FA-150	54,12	43,9	1,98
FA-200	53,96	44,9	1,14
DE-10	44,16	53,41	2,43
DE-50	46,96	50,68	2,36

Tabela VII – Concentração de metais pesados nas plantas.

Amostras	Planta	Ferro			Mn			Zn		
		Nov/98	Jul/99	Dez/99	Nov/98	Jul/99	Dez/99	Nov/98	Jul/99	Dez/99
Av	Raízes	542	498	597	18,9	16,4	16,9	20	18	19
Av		637	650	573	17,4	18,3	19,2	21	17	18
Av		652	643	703	18,5	17,8	16,5	23	20	19
Av		597	651	603	19,2	19,1	18,3	15	18	19
Psalino	Raízes	459	439	538	18,8	16,4	15,8	30	14	16
Psalino		587	453	627	17,9	17,2	16,9	18	17	15
Av		37,8	34,8	29,5	120	106	119	10	8	11
Av		40,2	38,6	42,4	118	124	144	9	11	8
Av	Folhas	39,2	28,3	38,8	125	122	133	12	9	10
Av		42,1	40,3	29,3	110	132	127	7	10	8
Psalino		40,8	24,3	33,7	117	105	110	13	9	9
Psalino		38,4	29,6	31,2	122	123	132	10	8	7
Av	Hastes	18,3	17,3	19,2	52	38	45	6	5	7
Av		19,4	20,2	18,7	32	30	44	4	6	4
Av		18,7	21,3	20,1	54	48	52	5	5	8
Av		17,9	18,5	18,2	48	55	49	7	6	4
Psalino	Hastes	18,2	17,9	19,3	39	37	42	2	4	5
Psalino		17,8	18,2	19,6	42	34	40	6	3	4
Av		10,2	9,5	7,8	25	19	22	3	2	3
Av		8,9	9,9	8,4	22	19	20	2	1	3
Av	Caule	9,5	10,8	8,9	18	21	17	5	4	3
Av		10,1	9,5	10,3	23	20	19	3	3	2
Psalino		9,82	9,4	7,5	19	21	22	4	3	3
Psalino		8,92	8,7	8,2	21	19	16	2	2	1