



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

TESE DE DOUTORADO

**BIOGEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS LAMOSOS
E SUA INFLUÊNCIA NO PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DA
VEGETAÇÃO, NO MANGUEZAL DE BRAGANÇA, NE DO PARÁ**

Tese apresentada por:

CLEISE CORDEIRO DA CRUZ

**BELÉM
2009**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

C957b Cruz, Cleise Cordeiro da

Biogeoquímica dos sedimentos lamosos e sua influência no padrão de distribuição da vegetação, no manguezal de Bragança, NE do Pará/ Cleise Cordeiro da Cruz. – 2009
xx, 162 f.:il.

Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

Orientador: Rubén José Lara.

1. Biogeoquímica - Bragança (PA). 2. Áreas inundáveis - Bragança (PA). 3. Ecologia dos manguezais - Bragança (PA). I. Universidade Federal do Pará. II. Lara, Rubén José, *orient.* III. Título.

CDD 22. ed.: 577.14098115



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

PARECER

Sobre a Defesa Pública da Tese de Doutorado de CLEISE CORDEIRO DA CRUZ

A banca examinadora da tese de doutorado de **CLEISE CORDEIRO DA CRUZ** intitulada "**BIOGEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS LAMOSOS E SUA INFLUÊNCIA NO PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO NO MANGUEZAL DE BRAGANÇA, NE DO PARÁ**", composta pelos doutores Rubén José Lara (Orientador-PPGG), Eduardo Tavares Paes (INPE), Marcus Emanuel Barroncas Fernandes (UFPA), José Francisco Berrêdo Reis da Silveira (MPEG), Marcelo Cancela Lisboa Cohen (UFPA), após a apresentação oral e argüição do candidato, emite o seguinte parecer:

O documento defendido apresenta conteúdo relevante do ponto de vista científico e acadêmico adequado para uma tese de Doutorado. Entretanto, foram detectadas, pelos membros da Banca Examinadora, imperfeições quanto à forma, citações bibliográficas e aspectos metodológicos que foram recomendados a serem incorporados ao documento oficial no formato de uma Errata.

Com base no exposto, a banca examinadora decidiu por unanimidade aprovar a tese de doutorado.

Belém, 30 de outubro de 2009

Dr. Rubén José Lara (Orientador-PPGG)

Dr. Eduardo Tavares Paes (INPE)

Dr. Marcus Emanuel Barroncas Fernandes (UFPA)

Dr. José Francisco Berrêdo Reis da Silva (MPEG)

Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen (UFPA)

CRUZ, Cleise Cordeiro da. **Biogeoquímica dos sedimentos lamosos e sua influência no padrão de distribuição da vegetação, no manguezal de Bragança, NE do Pará**. 2009. Belém: Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. 162p. (Tese de Doutorado).

ERRATA

Folha	Linha	Onde se lê	Leia-se
6	16 a 24	<p>Assim, o objetivo principal, deste trabalho compreende a avaliação da distribuição da vegetação de mangue em um perfil topográfico e de inundação na península de Bragança, através das características biogeoquímicas e mineralógicas dos sedimentos do manguezal.</p> <p>Desta forma pretende-se: medir a frequência de inundação em distintos níveis topográficos na península de Bragança; realizar o levantamento florístico e fitossociológico da vegetação arbórea e herbácea halófitas; avaliar a influência da topografia na variação da frequência de inundação e nas características dos atributos dos sedimentos (umidade, matéria orgânica (MO) e a salinidade), e a disponibilidade de nutrientes, como o fósforo e os cátions trocáveis.</p>	<p>Partindo-se da hipótese de que a frequência de inundação associada à micro topografia do terreno controlam as propriedades físico-químicas dos sedimentos de mangue (influenciadas pela matéria orgânica e mineralogia) e os avanços e recuos da cobertura vegetal e a variação da salinidade intersticial, este trabalho tem como objetivo principal compreender a distribuição da vegetação de mangue em um perfil topográfico e de inundação na península de Bragança, através da avaliação das características biogeoquímicas e mineralógicas dos sedimentos.</p> <p>E assim, propõe como objetivos específicos: avaliar a frequência de inundação em distintos níveis topográficos na península de Bragança; realizar o inventário florístico e fitossociológico da vegetação arbórea e herbácea halófitas; caracterizar os sedimentos quanto à mineralogia, umidade, matéria orgânica, salinidade e disponibilidade de nutrientes como o fósforo e cátions trocáveis; e verificar a influência da topografia na variação da frequência de inundação.</p>

Folha	Linha	Onde se lê	Leia-se
23	3 a 9	As medidas de FI foram efetuadas sob maré de sizígia, momento em que todo o mangue é inundado, por meio de um modelo de elevação digital (Cohen et al. 2000). Ao longo das transecções foram tomadas medidas da altura do nível da água relativo à superfície do terreno, corrigidos à altura da maré no canal de referência no mangue de Bragança (Furo do Chato) e posteriormente ajustado ao nível médio do mar (ilha dos Guarás). Esses valores referidos e ajustados ao mapa topográfico nas proximidades do Furo do Chato fornecem o número de dias durante o ano em que a área é inundada.	<p>As medidas de frequências de inundação foram realizadas a partir de um modelo de elevação digital, baseado na produção de um mapa topográfico em uma área de 4 ha representativa da topografia do manguezal de Bragança (Furo do Chato). Uma base de dados contendo coordenadas e seus correspondentes valores de elevação foi elaborada e processada para a criação de um modelo de elevação digital, no qual prediz que na maré de sizígia mais de 92% do manguezal é inundado (Cohen et al. 2000) e (Cohen et al. 2004).</p> <p>Nesse modelo o cálculo da frequência de inundação é baseado na altura diária das marés da ilha dos Guarás (a 100 km de Bragança), obtida na tábua de maré (DHN), e ajustada para a área de estudo com os dados da maré obtidos no Furo do Chato. A frequência de inundação é computada como o número de dias no qual a maré atinge determinada cota topográfica em um ano.</p> <p>Neste trabalho, as medidas da frequência de inundação são efetuadas numa maré de sizígia ao longo das estações de amostragens, através da altura do nível da água da maré, medida em réguas de madeira de aproximadamente 1 m, firmadas nos sedimentos. Nestas réguas são fixadas frascos plásticos de 30 ml, sem tampa, dispostos alternadamente, lado a lado, em níveis sobrepostos, a partir da superfície do terreno.</p> <p>Após a inundação da maré, anota-se a altura que a água penetra os frascos, desde a parte inferior, até o último frasco na parte superior da régua. Esta altura é ajustada a maior altura da maré do dia no Furo do Chato e na ilha dos Guarás. O resultado obtido fornece o número de dias durante o ano em que a área amostrada é inundada.</p>

Folha	Linha	Onde se lê	Leia-se
120	21	(Figuras, 9; 10; 11 e 12)	(Figuras 7; 9; 10 e 11)
121	18	(Figura 16)	(Figura 14 e 15)
121	24	(Figura 17)	(Figura 16 e 17)
122	6 e 15	(Figura 19)	(Figura 18 e 19)
122	11	(Tabela 29)	(Tabela 60)
122	14	(Tabela 30)	(Tabela 61)
149	23 a 25	COHEN, M. C., LARA, R. J., SZLAFSZTEIN. C. F., DITTMAR, T. 2000. Digital Elevation Models as a GIS Tool for The Analysis of Mangrove Coasts. Amazon Region, Brazil – <i>International journal of Enviromental Creation</i> . 3 (1)	COHEN, M. C., LARA ,R. J., SZLAFSZTEIN. C. F., DITTMAR, T. 2000. Digital Elevation Models as a GIS Tool for The Analysis of Mangrove Coasts. Amazon Region, Brazil – <i>International journal of Enviromental Creation</i> . 3 (1): 31-41.
149	31 a 34	COHEN, M.C.L; Pedro W.M.Souza Filho; RUBENS, J.Lara; HERMAN, Berling. RODOLFO, J. 2005a. Angulo. A model od Holocene mangrove development, anf relative sea-level changer on the bragança peninsula (norhear Brazil). <i>Wetlands Ecology and Management</i> , 13 : 433-443.	COHEN, M.C.L., SOUZA FILHO, P. W.M., LARA R. J., HERMAN, B., ANGULO, R. J. 2005a. A model of Holocene mangrove development, and relative sea-level changes on the Bragança peninsula (northern Brazil). <i>Wetlands Ecology and Management</i> , 13 : 433-443.
156	18 a 19	McLENNAN, S. M., TAYLOR, S.R. 1991. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends. <i>Journal Geology</i> , 99 .	McLENNAN, S. M. & TAYLOR, S.R. 1991. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends. <i>Journal Geology</i> , 99 : 1-21.

*À minha fonte de inspiração,
Ernesto, meu marido, Pedro e Naiana, minhas riquezas
Obrigada pela espera. Finalmente estou de volta!*

AGRADECIMENTO

A Deus, por sua força, sem a qual nada seria possível.

Ao meu orientador Dr. Rubén José Lara, por sua confiança na realização deste trabalho e pelo suporte logístico na realização das campanhas de campo e análises químicas por meio do projeto MADAM.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Werner Truckenbrodt, pelo apoio e sugestões no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Joaquim Queiroz Barbosa, por sua orientação no tratamento estatístico dos dados.

Ao Prof. Dr. Rômulo Angélica por sua ajuda na parte inicial deste trabalho.

À Dra. Cristina Senna por seu apoio na viabilização do levantamento florístico e fitossociológico da vegetação.

Ao professor Prof. Dr. Thomas Scheller por sua amizade.

Ao CNPq, pela concessão das bolsas de estudo, para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geologia da Universidade Federal do Pará pelo apoio institucional. E aos docentes do referido programa, por todo conhecimento e experiência transmitida durante o transcorrer deste doutorado.

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) – Coordenação de Ciência da Terra pela cessão do laboratório de absorção atômica. E o profissionalismo da química Ieda, na qualidade da obtenção dos resultados analíticos.

Agradeço a amizade e apoio dos colegas do projeto MADAM (Denis, Alexandre, Simplicio, Moira, Ursula, Helenice e André), e a Luiz Carlos, técnico do Museu Paraense Emílio Goeldi por sua dedicação nos trabalhos de campo.

Ao Salustiano pelas observações e sugestões

Aos colegas do Instituto de Geologia, Gustavo, Socorro, Alcinei e Wilson, pelo apoio nas confecções de mapas e figura e Henrique pelas sugestões.

À amiga Andréa Corrêa pelo incentivo e presteza no decorrer deste trabalho.

Um agradecimento especial, aos meus pais **Roberto e Joana**, exemplo de persistência e integridade neste mundo dos contrários. E a minha irmã Elze, que não mediu esforços para viabilizar a finalização deste trabalho.

E para sempre, agradeço o apoio dos meus amores, Ernesto, Pedro e Naiana pela imensa paciência

Em memória do meu irmão José Haroldo, que não conseguiu me esperar, mas absorveu nos últimos momentos de sua vida, a minha dedicação por este trabalho.

Aos amigos que partiram, Edilson Brabo, Antônio Vaquera, Waterloo Napoleão Lima.

E por fim a todas as pessoas que de forma efetiva, direta, colaboraram e serviram de incentivo à realização deste trabalho.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	vii
AGRADECIMENTOS.....	viii
SUMÁRIO.....	x
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	xiv
RESUMO.....	1
ABSTRACT	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 ÁREA DE ESTUDO	7
2.1 LOCALIZAÇÃO	7
2.1.1 Transecção 1 (T1).....	10
2.1.2 Transecção 2 (T2).....	10
2.1.3 Platô herbáceo (PHb).....	12
2.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS	13
2.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	14
2.4 ASPECTOS FLORÍSTICOS	15
3 ESTADO DA ARTE	18
3.1 ORIGEM E DISTRIBUIÇÃO DOS MANGUEZAIS.....	18
3.2 MANGUEZAIS E NUTRIENTES	20
4 MÉTODOS	23
4.1 MEDIDAS DE FREQUÊNCIA DE INUNDAÇÃO	23
4.2 LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO	23
4.2.1 Vegetação arbórea	23
4.2.2 Vegetação herbácea	26
4.3 SEDIMENTOS	28
4.3.1 Coleta	28
4.3.2 Análises de Laboratório	29
4.3.2.1 Análise granulométrica	29
4.3.2.2 Análise mineralógica	30
4.3.2.2.1 Identificação mineralógica por difração de raios-x (DRX)	30

4.3.2.2.2	Determinação semiquantitativa dos argilominerais	30
4.3.2.2.3	Microscopia eletrônica - MEV	31
4.3.2.3	Composição química total	31
4.3.2.4	Umidade e Matéria orgânica	31
4.3.2.5	Salinidade	32
4.3.2.6	Fósforo	33
4.3.2.7	Capacidade de troca catiônica (CTC)	33
4.4	VEGETAÇÃO	34
4.4.1	Coleta	34
4.4.2	Análise química	34
4.5	CONTROLE DE QUALIDADE ANALÍTICA	35
4.6	TRATAMENTO ESTATÍSTICO	37
4.6.1	Estatística descritiva	37
4.6.2	Análise de variância - ANOVA	38
4.6.3	Análise discriminante	38
5	RESULTADOS	42
5.1	SEDIMENTOS	42
5.1.1	Granulometria	42
5.1.2	Caracterização mineralógica	43
5.1.2.1	Identificação dos argilominerais	48
5.1.2.2	Análise semiquantitativa dos argilominerais	50
5.1.2.3	Elementos maiores	51
5.1.2.4	Elementos-traço	51
5.1.2.5	Elementos Terras Raras	52
5.1.3	Normalização dos sedimentos de Bragança	52
5.1.3.1	Elementos maiores	52
5.1.3.2	Elementos-traço	57
5.1.3.3	Elementos Terras Raras	58
5.2	VEGETAÇÃO	60
5.3	AVALIAÇÃO NO PERFIL DE INUNDAÇÃO	62
5.3.1	Transecção 1 (T1)	62

5.3.1.1	Topografia e frequência de inundação (FI).....	62
5.3.1.2	Sedimento	63
5.3.1.2.1	Granulometria e argilominerais	63
5.3.1.2.2	Umidade.....	65
5.3.1.2.3	Matéria Orgânica	69
5.3.1.2.4	Salinidade.....	69
5.3.1.2.5	Fósforo	69
5.3.1.2.6	Capacidade de troca catiônica (CTC)	70
5.3.1.3	Vegetação.....	74
5.3.1.3.1	Parâmetros fitossociológicos	74
5.3.1.3.2	Fósforo nas folhas	76
5.3.1.4	Tratamento Estatístico	78
5.3.1.4.1	Análise de variância (ANOVA).....	78
5.3.1.4.2	Análise discriminante.....	80
5.3.2	Transecção 2 (T2)	83
5.3.2.1	Topografia e frequência de inundação	83
5.3.2.2	Sedimento	84
5.3.2.2.1	Granulometria e argilominerais	84
5.3.2.2.1	Umidade.....	86
5.3.2.2.2	Matéria Orgânica	90
5.3.2.2.3	Salinidade.....	90
5.3.2.2.4	Fósforo	91
5.3.2.2.5	Capacidade de troca catiônica (CTC)	92
5.3.2.3	Vegetação.....	95
5.3.2.3.1	Parâmetros fitossociológicos	95
5.3.2.3.2	Fósforo nas plantas	98
5.3.2.4	Tratamento Estatístico	102
5.3.2.4.1	Análise de variância (ANOVA).....	102
5.3.2.4.2	Análise discriminante.....	105
5.3.3	Platô herbáceo	108
5.3.3.1	Topografia e frequência de inundação	108

5.3.3.2	Granulometria e argilomineral	108
5.3.3.3	Umidade, matéria orgânica e salinidade	110
5.3.3.4	Capacidade de troca catiônica (CTC)	112
5.3.3.5	Vegetação.....	112
5.3.3.5.1	Parâmetros fitossociológicos	112
5.3.3.5.2	Fósforo nas plantas	112
5.3.4	AVALIAÇÃO NO PERFIL TOPOGRÁFICO.....	114
5.3.4.1	Tratamento Estatístico	115
5.3.4.1.1	Análise de variância (ANOVA).....	115
5.3.4.1.2	Análise discriminante.....	117
6	DISCUSSÃO	120
6.1	GRANULOMETRIA, MINERALOGIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA	120
6.2	AVALIAÇÃO NO PERFIL DE INUNDAÇÃO	124
6.2.1	Transecção 1 (T1)	124
6.2.1.1	Umidade.....	124
6.2.1.2	Umidade - Salinidade e Estrutura da floresta	127
6.2.1.3	Matéria orgânica	129
6.2.1.4	Umidade/matéria orgânica e capacidade de troca catiônica (CTC).....	132
6.2.2	Transecção 2 (T2)	134
6.2.2.1	Umidade/P-total/Salinidade	134
6.2.2.2	Umidade/Salinidade/Estrutura da Floresta	137
6.2.2.3	Umidade e Capacidade de troca catiônica (CTC).....	138
6.2.3	Platô herbáceo	139
6.2.4	Transecção 1, Transecção 2 e Platô herbáceo	140
7	CONCLUSÕES	143
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da península de Bragança.....	7
Figura 2 – Mapa de localização dos sítios amostrados.....	9
Figura 3 - Vegetação em T1	10
Figura 4 - Vegetação em T2	11
Figura 5- Vegetação no Platô herbáceo	12
Figura 6 - Variação granulométrica dos sítios amostrados no diagrama de Shepard	42
Figura 7 - Variação granulométrica dos sítios amostrados na planície de Bragança.	43
Figura 8 - Difratoograma de raios-X em amostras totais nos sedimento do manguezal de Bragança,: T1 (a), T2 (b) e Platô herbáceo (c), mostrando seus principais minerais: C-caulinita, Qz-quartzo, He-hematita, Kf-K-feldspato, P-pyrita, J-jarosita, e Ha-halita; PHb: C-caulinita, Qz-quartzo, P-pyrita, J-jarosita, e Ha-halita	44
Figura 9 - Fotomicrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) de minerais encontrados nos sedimentos de manguezal de Bragança.	45
Figura 10 - Fotomicrografias obtidas por MEV de minerais autigênicos de pirita e vivianita (recoberta por esmectita) encontrados nos sedimentos de manguezal de Bragança.	46
Figura 11 - Fotomicrografias obtidas por MEV de argilomineral de esmectita e frambóides de pirita (a), e com minerais de halita e diatomácea (b) encontrados nos sedimentos de manguezal de Bragança.	47
Figura 12 - Fotomicrografias obtidas por MEV de argilomineral de esmectita e diatomácea preservadas encontrados nos sedimentos do manguezal de Bragança. A- <i>Cyclotella</i> sp. – Diatomácea cêntrica, planctônica; B – <i>Diploneis gruendleri</i> (A. Schmidt) Cleve – Diatomácea penada, bentônica, ecologia marinha/estuarina, comum em sedimentos de manguezais; C – Diatomácea cêntrica, provavelmente um <i>Actinocyclus</i> sp. D – <i>Coscinodiscus jonesianus</i> (Greville) Ostenfeld – Diatomácea cêntrica, planctônica, espécie marinha. (Fonte: Ribeiro 2007).	48
Figura 13 - Difração de raios-X dos argilominerais presentes nos sedimentos do manguezal de Bragança (0-30 cm). Esmectita (E), Caulinita (C) e Ilita (I) em (T1), (T2) e (PHb). Lâminas orientadas (OR), solvatadas com etilno glicol (ELG) e aquecidas a 550° C (AQ).....	49

Figura 14 – Difração de raios-X da fração argila dos sedimentos de mangue de Bragança após saturação com MgCl ₂ (a) e com KCl (b).	50
Figura 15 - Normalização das concentrações dos elementos maiores em forma de óxidos (SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MgO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O, TiO ₂ , P ₂ O ₅ e MnO) nas transecções (T1 e T2) em relação à CTS Taylor & McLennan (1985);	55
Figura 16 - Normalização das concentrações dos elementos maiores em forma de óxidos (SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MgO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O, TiO ₂ , P ₂ O ₅ e MnO) em PHb.....	56
Figura 17 - Normalização das concentrações dos elementos-traço (Sr, Ba, V, Zr, Co, Cr, Zn, Sc, Y, Pb, Ga, As, Nb, Hf, Th, U, Sn, Rb e Cs) dos sedimentos de T1 e T2.....	57
Figura 18 - Normalização das concentrações dos elementos-traço (Sr, Ba, V, Zr, Co, Cr, Zn, Sc, Y, Pb, Ga, As, Nb, Hf, Th, U, Sn, Rb e Cs) dos sedimentos em PHb.....	58
Figura 19 - Normalização das concentrações dos elementos Terras Raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, e Lu dos sedimentos T1 e T2.....	58
Figura 20 - Normalização das concentrações dos elementos Terras Raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, e Lu dos sedimentos no PHb	59
Figura 21 – Vegetação no perfil topográfico dos sítios amostrados	61
Figura 22 - Frequência de inundação da Transecção 1.	63
Figura 23 - Variação granulométrica nos bosques de <i>Avicennia</i> , Misto e de <i>Rhizophora</i> na transecção 1.	64
Figura 24 - Variação dos argilominerais nos bosques de <i>Avicennia</i> , Misto e de <i>Rhizophora</i> na transecção 1	65
Figura 25 - Variação da umidade e matéria orgânica em %; salinidade, P-total, P-inorg., P-org., e P-biodisp. em mg.g ⁻¹ de peso seco, nos bosques de <i>Avicennia</i> , Misto e de <i>Rhizophora</i> na transecção 1	67
Figura 26 – Valores médios da umidade e matéria orgânica em %; salinidade, P-total, P-inorg., P-org., e P-biodisp. em mg.g ⁻¹ de peso seco, nos bosques de <i>Avicennia</i> , Misto e de <i>Rhizophora</i> na transecção 1	68
Figura 27 - Variação da CTC nos sedimentos do manguezal de Bragança em T1. a) matéria orgânica, esmectita e salinidade; b) umidade, Fósforo biodisponível e caulinita.	73
Figura 28 - Variação média das concentrações de P-folhas e altura das árvores de <i>A. germinans</i> e <i>R. Mangle</i> nos bosques de <i>Avicennia</i> , Misto e de <i>Rhizophora</i> em T1	77

Figura 29 - Dispersão dos bosques (<i>Avicennia</i> , Misto e <i>Rhizophora</i>) no espaço discriminante...	82
Figura 30 - Frequência de inundação da Transecção 2.	83
Figura 31 - Variação granulométrica nos bosques da Transecção 2.	85
Figura 32 – Variação média dos argilominerais, caulinita, esmectita e ilita em (%) nos sedimentos do Campo arbustivo bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea, bosque de <i>A. schaueriana</i> , e bosque de <i>A. germinans</i> em T2.....	86
Figura 33 - Variação da umidade e matéria orgânica (%), salinidade, P-total, P-inorg, P-org e P-biodisp em mg.g^{-1} de peso seco nos sedimentos do Campo arbustivo bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea, bosque de <i>A. schaueriana</i> , e bosque de <i>A. germinans</i> em T2.....	88
Figura 34 - Variação da umidade e matéria orgânica (%), salinidade, P-total, P-inorg, P-org e P-biodisp em mg.g^{-1} de peso seco nos sedimentos do Campo arbustivo bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea, bosque de <i>A. schaueriana</i> , e bosque de <i>A. germinans</i> em T2.....	89
Figura 35 - Variação da CTC nos sedimentos do manguezal de Bragança T2: a) matéria orgânica, esmectita e salinidade; b) umidade, P-biodisponível e caulinita.	94
Figura 36 - Variação média das concentrações de P-folhas, altura das árvores e DAP de <i>A. schaueriana</i> e <i>A. germinans</i> . ao longo do perfil topográfico em T2.....	100
Figura 37 - Variação média das concentrações de P-folhas, altura das árvores e DAP de <i>A. schaueriana</i> e <i>A. germinans</i> . ao longo do perfil topográfico em T2.....	101
Figura 38 - Dispersão do campo arbustivo, bosques de <i>A. schaueriana</i> e herbácea, <i>A. schaueriana</i> e <i>A. germinans</i> no espaço discriminante.....	107
Figura 39 - Frequência de inundação no Platô herbáceo.....	108
Figura 40 - Variação granulométrica no Platô herbáceo.	109
Figura 41 - Comportamento dos argilominerais, caulinita, esmectita e ilita em % nos sedimentos de mangue de Bragança; no perfil vertical (0-30 cm), no Platô herbáceo.....	109
Figura 42 - Variação da umidade e matéria orgânica (%), salinidade, P-total, P-inorg, P-org e P-biodisp em mg.g^{-1} de peso seco nos sedimentos do manguezal de Bragança em PHb.	111
Figura 43 - Variação no perfil vertical e horizontal da umidade e matéria orgânica em %, salinidade, P-total, P-inorg., P-org., e P-biodisp em mg.g^{-1} de peso seco, ao longo do perfil topográfico.....	114
Figura 44 - Dispersão da Transecção 1, Transecção 2 e Platô herbáceo no espaço discriminante.	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise semi-quantitativa dos argilominerais dos sedimentos de mangue de Bragança nos sítios amostrados ao longo da planície.....	50
Tabela 2 - Valores médios das concentrações dos elementos maiores nos sedimentos do manguezal de Bragança (T1, T2 e PHb).....	53
Tabela 3 - Valores médios das concentrações dos elementos traço nos sedimentos do manguezal de Bragança (T1, T2 e PHb).....	54
Tabela 4 - Valores médios das concentrações dos elementos Terras Raras nos sedimentos do manguezal de Bragança (T1, T2 e PHb).....	54
Tabela 5 - Concentração média de SiO ₂ , A ₂ O ₃ , MgO, CaO, Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , Na ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ , MnO, S e perda ao fogo – PF (% de peso) dos sedimentos do manguezal de Bragança (T1 e T2) e PHb, e manguezais do nordeste do Pará e de clima tropical e equatorial.....	56
Tabela 6 - Valores médios da frequência de inundação (FI) (dias/ano); P-total, P-inorg. P-org. e P-biodisp. (mg.g ⁻¹ em peso seco); umidade e matéria orgânica (%) e da salinidade ao longo do gradiente de inundação da transecção 2 (T1).....	66
Tabela 7 – Valores médios da capacidade de troca catiônica (CTC) nos bosques de <i>Avicennia</i> , Misto e <i>Rhizophora</i> no gradiente de inundação.	72
Tabela 8 - Valores médios dos parâmetros estruturais transecção 1 (T1).	75
Tabela 9 - Valores médios da concentração de P-folhas, DAP (cm) e altura (m) nas árvores de <i>A. germinans</i> e <i>R. mangle</i> em T1.	76
Tabela 10 - Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste <i>F</i> (F) e valor- <i>p</i> , para a umidade.	78
Tabela 11 - Teste <i>Post Hoc</i> de <i>Fisher</i> mostrando os níveis descritivos do valor- <i>p</i> para a variável umidade	78
Tabela 12 - Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste <i>F</i> (F) e valor- <i>p</i> , para a MO.	79
Tabela 13 - Teste <i>Post Hoc</i> de <i>Fisher</i> mostrando os níveis descritivos do valor- <i>p</i> para a variável MO.....	79
Tabela 14 - Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste <i>F</i> (F) e valor- <i>p</i> , para a salinidade.....	79

Tabela 15 - Teste <i>Post Hoc</i> de <i>Fisher</i> mostrando os níveis descritivos do valor- <i>p</i> , para a variável salinidade.....	79
Tabela 16 - Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste <i>F</i> (F) e valor- <i>p</i> , para o P-total.....	80
Tabela 17 - Teste <i>Post Hoc</i> de <i>Fisher</i> mostrando os níveis descritivos do valor- <i>p</i> , para a variável P-total.	80
Tabela 18 - Médias dos bosques ao longo de T1, n = 40.	81
Tabela 19 - Distância de <i>Mahalanobis</i> entre as florestas em T1.....	81
Tabela 20 - Matriz de classificação das variáveis analisadas.(umidade, MO, salinidade e P-total)	81
Tabela 21 - Funções lineares discriminantes para os bosques de <i>Avicennia</i> , Misto e de <i>Rhizophora</i>	81
Tabela 22 - Contribuição relativa (%) das variáveis (umidade, MO, salinidade e P-total) na separação dos bosques de <i>Avicennia</i> , Misto e de <i>Rhizophora</i>	82
Tabela 23 - Valores médios da frequência de inundação (FI) (dias/ano); P-total, P-inorg. P-org. e P-biodisp. (mg.g ⁻¹ em peso seco); umidade e matéria orgânica (%) e da salinidade ao longo do gradiente de inundação da transecção 2 (T2).	87
Tabela 24 - Valores médios da capacidade de troca catiônica (CTC) Campo arbustivo, Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea, Bosque de <i>A. schaueriana</i> , Bosque de <i>A. germinans</i> T2.....	93
Tabela 25 - Valores da proporção do terreno ocupado pela vegetação (cobertura); número de quadrados amostrados; dominância absoluta (DoA); dominância relativa (DoR); frequência absoluta (FA); frequência relativa (FR) e valor de importância (VI), n = 100.....	95
Tabela 26 - Valores médios dos parâmetros estruturais da Transecção 2.....	96
Tabela 27 - Valores da proporção do terreno ocupado pela vegetação (cobertura); número de quadrados amostrados; Dominância absoluta (DoA); Dominância relativa (DoR); Frequência absoluta (FA); Frequência relativa (FR) e Índice de valor de importância (VI), n = 200.....	97
Tabela 28 - Valores médios de P em mg.g ⁻¹ nas raízes, caule e folhas de <i>s. portulacastrum</i> e <i>Batis marítima</i> e nas folhas e raízes de <i>S. Virginicus</i> , n = 9.....	98
Tabela 29 - Valores médio de fósforo nas folhas (P-folhas) em mg.g ⁻¹ nas árvores de <i>A. schaueriana</i> e <i>A. germinans</i> em T2, n = 36.....	99
Tabela 30 - Análise de variância , mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste <i>F</i> (F) e valor- <i>p</i> , para a umidade.	102

Tabela 31 - Teste <i>Post Hoc</i> de <i>Fischer</i> mostrando os níveis descritivos do valor- <i>p</i> , para a variável umidade (%).	102
Tabela 32 - Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste <i>F</i> (F) e valor- <i>p</i> , para a MO	103
Tabela 33 - Teste <i>Post Hoc</i> de <i>Fischer</i> mostrando os níveis descritivos do valor- <i>p</i> , para a variável MO (%)	103
Tabela 34- Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste <i>F</i> (F) e valor- <i>p</i> , para a salinidade.	103
Tabela 35 - Teste <i>Post Hoc</i> de <i>Fischer</i> mostrando os níveis descritivos do valor- <i>p</i> , para a variável Salinidade.	103
Tabela 36 - Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste <i>F</i> (F) e valor- <i>p</i> , para o P-total.	104
Tabela 37 - Teste <i>Post Hoc</i> de <i>Fischer</i> mostrando os níveis descritivos do valor- <i>p</i> , para a variável P-total (mg.g ⁻¹).	104
Tabela 38 - Médias dos bosques ao longo de T2, n = 40.	105
Tabela 39 - Distância de <i>Mahalanobis</i> entre os sítios em T2.	105
Tabela 40 - Matriz de classificação das variáveis analisadas (umidade, MO, salinidade e P-total)	105
Tabela 41 - Funções lineares discriminantes para os sítios amostrados.	106
Tabela 42 - Contribuição relativa das variáveis (%) das variáveis umidade, salinidade MO e P-total na separação do Campo arbustivo, bosque de <i>A. schaueriana</i> e herbácea, bosque de <i>A. schaueriana</i> e bosque de <i>A. germinans</i> .	107
Tabela 43 - Valores médios da freqüência de inundação (FI) em dias/ano, P-total, P-inog., P-org. e P-biodisp, em peso seco; umidade e matéria orgânica (%) e da salinidade no Platô herbáceo,	110
Tabela 44 - Parâmetros fitossociológicos analisados. Cobertura, número de quadrados amostrados, dominância absoluta (DoA), Dominância relativa (DoR), freqüência absoluta (FA), freqüência relativa (FR) e valor de importância (VI), n = 200.	112
Tabela 45 - Valores médios de P em mg.g ⁻¹ nas raízes, caule e folhas de <i>S. portulacastrum</i> e <i>Batis marítima</i> e nas folhas e raízes de <i>S. virginicus</i> , n = 9.	113

Tabela 46 - Valores médios da concentração de P-folhas com parâmetros estruturais da vegetação.....	113
Tabela 47- Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste <i>F</i> (F) e valor- <i>p</i> , para a umidade. (T1, T2 e PHb).....	115
Tabela 48- Teste <i>Post Hoc</i> de <i>Fischer</i> mostrando os níveis descritivos do valor- <i>p</i> , para a variável umidade.....	115
Tabela 49 - Análise de variância , mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste <i>F</i> (F) e valor- <i>p</i> , para a umidade, matéria orgânica.....	115
Tabela 50 - Teste <i>Post Hoc</i> de <i>Fischer</i> mostrando os níveis descritivos do valor- <i>p</i> , para a variável matéria orgânica.....	115
Tabela 51 - Análise de variância , mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste <i>F</i> (F) e valor- <i>p</i> , para a umidade, salinidade.....	116
Tabela 52 - Teste <i>Post Hoc</i> de <i>Fischer</i> mostrando os níveis descritivos do valor- <i>p</i> , para a variável salinidade.....	116
Tabela 53 - Análise de variância , mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste <i>F</i> (F) e valor- <i>p</i> , para a umidade, P-total	116
Tabela 54 - Teste <i>Post Hoc</i> de <i>Fischer</i> mostrando os níveis descritivos do valor- <i>p</i> , para a variável P-total.	116
Tabela 55 - Médias dos sítios ao longo da planície de Bragança	117
Tabela 56 - Distância de <i>Mahalanobis</i> entre os sítios em T1, T2 e PHb.....	117
Tabela 57 - Matriz de classificação das variáveis analisadas (umidade, MO, salinidade e P-total) em T1, T2 e PHb	117
Tabela 58 - Funções discriminantes para os sítios, T1, T2 e PHb.....	118
Tabela 59 – Contribuição relativa das variáveis P-total, umidade, matéria orgânica e salinidade para a discriminação dos sítios amostrados em em T1, T2 e PHb	119
Tabela 60 - Razões entre elementos traço nos sedimentos de manguezal comparados ao PASS e manguezais de Bragança.	122
Tabela 61- Fracionamento dos elementos Terras Raras comparados ao PAAS e Crosta continental.	123

RESUMO

A presente pesquisa examina as relações sedimento-planta e os processos biogeoquímicos envolvidos no desenvolvimento e distribuição espacial dos manguezais na região de Bragança, NE do Pará, sujeitos a regime de macromarés (4 m). Para tanto, foram selecionadas três áreas em distintos níveis topográficos da planície, colonizados por padrões diferenciados da vegetação: Transecção 1 (T1) e Transecção 2 (T2); e Platô herbáceo (PHb). A vegetação em T1 é composta principalmente por espécies de *Rhizophora mangle* e *Avicennia germinans*, e se localiza numa zona com regime de inundação semi-diurno. T2, compreende uma floresta jovem colonizada por vegetação arbórea e arbustiva do gênero de *Avicennia* e vegetação herbácea. Na parte elevada desta transecção com baixa frequência de inundação e alto estresse de salino, as herbáceas halófitas *Sesuvium portulacastrum* e *Sporobolus virginicus* estão associadas a vegetação arbustiva de *Avicennia schaueriana*. O PHb, localizado na zona com menor frequência de inundação, apresenta pequenas colonizações em forma de moitas arbustivas de *A. schaueriana* e espécies de *S. portulacastrum* e *S. Virginicus* com a presença da *Batis maritima*. Foram realizadas medidas da frequência de inundação; inventário florístico e fitossociológico dos bosques de manguezal e da vegetação herbácea halófito, concomitantemente às coletas de amostras de sedimentos e vegetação (folhas, caules e raízes). Nos sedimentos foram realizadas análises granulométricas, mineralógicas e químicas (amostra total); além de determinação da umidade, matéria orgânica (MO), salinidade e capacidade de troca catiônica (CTC). Também, foram realizadas análises químicas de fósforo total (P-total); fósforo inorgânico (P-inorg.); fósforo orgânico (P-org.) e fósforo bio-disponível (P-biodisp.). Na vegetação foram realizadas análises químicas de fósforo nas folhas (P-folhas) na espécie arbórea e folhas, caule e raízes na espécie herbácea. A análise de variância (ANOVA) *One Way (Post Hoc, teste de Fisher)* foi aplicada para testar as médias das variáveis (umidade, salinidade, matéria orgânica P-total) entre os sítios amostrados. A Análise Discriminante foi utilizada para mensurar o grau de influência das variáveis ambientais (Umidade, Salinidade, MO e P-total) sobre a discriminação destes sítios. A análise de correlação linear de *Pearson* verificou o grau de interação entre as variáveis discriminadas com as condições hidro-edáficas e com os parâmetros fitossociológicos determinados distintamente nas transecções no interior do manguezal (T1 e T2) e ao longo da península (T1, T2 e PHb). Os sedimentos de T1 e T2 são predominantemente finos (argilosos) e

indicam zonas de deposição calma, influenciados pela morfologia do terreno. Sedimentos finos (argila) em T1 e T2 sugerem áreas de lenta deposição, enquanto no Platô altos níveis de areia sugere formação de paleoduna com intenso retrabalhamento eólico de areia e entrada de sedimentos finos pela maré. A mineralogia principal dos sedimentos é composta pelo quartzo (dominante nas frações areia), silte e argilominerais como a caulinita e illita, outros minerais de origem autigênica são: pirita, jarosita e vivianita e, possivelmente, a esmectita e o k-feldspato. A mineralogia principal (caulinita e illita) e a composição química dos elementos maiores e traços indicam a forte influência dos sedimentos e solos da Formação Barreiras sobre a gênese dos sedimentos dos manguezais de Bragança. Em T1 (zona mais inundada), a espécie arbórea dominante é a *R. Mangle*, enquanto que em T2 (zona menos inundada) predomina o gênero de *Avicennia*. No Platô herbáceo a dominância da espécie *S. portulacastrum*, cinco vezes maior que a do *S. virginicus*, sugere ao *Sesuvium* maior habilidade de sobreviver em ambientes de estresse salino. O gradiente de inundação mostra uma forte correlação positiva com a umidade. Essa tendência é refletida na altura das árvores, volume e área basal que apresenta significativa correlação positiva com a disponibilidade do fósforo em T1 e com a CTC em T2. Os resultados da Análise Discriminante mostram que em T1 a umidade é a variável que mais contribui na discriminação do bosque de *Avicennia* dos bosques (Misto e de *Rhizophora*), enquanto a MO é a variável que mais discrimina o bosque Misto do bosque de *Rhizophora*. Em T2, a umidade, o P-total e a salinidade são as variáveis que mais contribuem para a discriminação dos sítios desta transecção. A distribuição da vegetação reflete diferentes respostas ecofisiológicas aos gradientes ambientais. Assim, a combinação da umidade, MO, salinidade, fósforo e a alta capacidade de troca catiônica dos sedimentos representa um significativo papel na colonização e estabelecimento da vegetação na península de Bragança.

Palavras chave: Biogeoquímica - Bragança (PA). Áreas inundáveis - Bragança (PA). Ecologia dos manguezais - Bragança (PA).

ABSTRACT

The present study investigates the relationship between sediment-plant and biogeochemical processes involved in the development and spatial distribution of vegetation in the Bragança mangrove peninsula, exposed to macrotidal regime (spring range 4 m). Therefore, three transects were established at three different topographic levels of that peninsula being colonized by different patterns of vegetation: Transect 1 (T1) Transect 2 (T2) and herbaceous plateau (PHb). The vegetation in T1 is composed mainly by *Rhizophora mangle* and *Avicennia germinans* and it is situated in a semi-diurnal flooding regime forest. The transect T2 is less frequently flooded and is characterized by a stand of young *Avicennia* trees and herbaceous vegetation. In the highest part of this transect with low inundation frequency and high salt stress, the vegetation is dominated by shrubs of *A. schaueriana* coexisting with herbaceous vegetation of *Sesuvium portulacastrum* and *Sporobolus virginicus*. The PHB, localized in the zone with lowest inundation frequency is colonized mainly by tree species of *A. schaueriana* in the form of shrubs and *S. portulacastrum* and *S. virginicus* with sporadic presence of *B. maritima*. In these sites were performed measurements of the flooding frequency; floristic and fitossociologic inventory in mangrove forest and in the herbaceous halophyte vegetation. Also sediment cores (0-30 cm) and vegetation (leaves, stems and roots) were collected. The sediment samples were subjected to granulometrical, mineralogical and chemical (total sample) analyses, and determination of the humidity, organic matter and salinity as well as cation exchange capacity (CEC) besides determination of the total, inorganic, organic and bioavailable phosphorus. In the vegetation samples, chemical analysis of total phosphorus was performed. The variance analysis (ANOVA) One Way (*Post Hoc Fisher's test*) was applied to test the mean of the variables (humidity, salinity, organic matter, total-P, inorg.-P, org.-P and bioavailable-P. Discriminant analysis was used to measure the degree of influence of environmental variables (humidity, salinity, organic matter and total-P) in the discrimination of sites sampled. The correlation analysis of *Pearson* was used to evaluate the degree of interaction between discriminated variables with the hydrological conditions and forest structure data. Fine sediments (clay) in T1 and T2 suggest areas of slow deposition, while in the plateau high levels of sand suggest its formation on a paleodune with intense eolic reworking of sandy and tidal input of finer sediments. The main mineralogy of the sediments is composed of quartz (dominant in the sand and silt) and clay minerals: kaolinite and illite, other minerals of authigenic origin are pyrite, jarosite and vivianite

and possibly smectite and k-feldspar. The main mineralogical and chemical composition of major and trace elements indicate the influence of sediments and soils of the Barreiras Formation on the genesis of sediments mangroves and marine influence in their chemical composition. In T1 (the more flooded sector), the dominant species is *R. Mangle*, while in T2 (less flooded zone) the *Avicennia* genus is predominant. In the herbaceous plateau the dominance of the *S. portulacastrum* species, is five times higher than that of *S. virginicus*, indicating that *Sesuvium* has greater ability to survive in environments with salt stress. The flooding gradient results in highly significant positive correlation with humidity. This trend is reflected in the tree height, volume and basal area correlated significantly with sediment phosphorus availability in T1 and CEC in T2. The results of Discriminant Analysis show that in T1 the humidity is the variable that most contributes in the discrimination of (*Rhizophora* and Mixed) forest of the *Avicennia* forest, while organic matter (OM) discriminated the Mixed forests and *Rhizophora* forests. In T2, the humidity, total-P and salinity are the variables that most contribute to the discrimination of sites in this transect. In the profiles, along the plain, the total-P and organic matter were the most important variables for discrimination of T1, T2 and PHb. The distribution of vegetation reflects different ecophysiological responses to environmental gradients. Therefore, the combination of organic matter, salinity, and phosphorus and, the high cation exchange capacity of sediments represent a significant role in the colonization of vegetation in the peninsula of Bragança.

Key words: Biogeochemistry - Bragança (PA). Wetlands - Bragança (PA). Mangrove ecology - Bragança (PA).

1 INTRODUÇÃO

Comunidades de mangue distribuem-se ao longo da faixa costeira tropical e subtropical, numa área de aproximadamente 14 a 15 milhões de ha (Schwamborn & Saint-Paul 1996), mostrando grande similaridade na estrutura, composição florística e função, Blasco et al., (1996). Estimativas recentes indicam que esse tipo de vegetação cobre 3.017.725 ha no litoral de países da América Latina, dos quais 1.376.255 ha situam-se no Brasil, desde o Cabo Orange ao norte até 28°30' ao sul, no estado de Santa Catarina (Adaime 1987) e (Dov 1994).

Os manguezais são florestas típicas da orla marítima e de vegetação característica. Formam-se nos estuários e deltas dos rios sob influência das marés, em regiões costeiras abrigadas e protegidas da ação direta do mar. Destacam-se pela riqueza numérica das populações que neles vivem (Schaeffer-Novelli & Cintrón 1990) e (Dov 1994).

A flora do manguezal consiste de 39 gêneros em 26 famílias no mundo, porém somente três gêneros de árvores são as mais comuns; Rhizophoraceae (ex. *Rhizophora*), Combretaceae (ex. *Laguncularia*) e Avicenniaceae (ex. *Avicennia*) (Tomlinson 1986) e (Saenger 2002).

Florestas de mangue sustentam uma grande produtividade costeira, geralmente associada ao fornecimento de matéria orgânica, e nutrientes provenientes da sua vegetação. A produtividade das árvores de mangue está entre as mais altas em comparação às outras angiospermas arbóreas (Pool et al. 1975). Folhas senescentes compreendem a maior parte da liteira do manguezal, e são importantes fontes de carbono, e nutrientes para a cadeia alimentar, e reservatório de matéria orgânica (Benner 1990). A decomposição destas pelos microorganismos presentes nos sedimentos é de fundamental importância no processo de reciclagem de nutrientes, sendo estes utilizados pelas plantas na regeneração e crescimento de tecidos, e na produção de estruturas reprodutivas (Silva 1992). Por outro lado, a deposição de pequenas partículas agregadas em consequência de sua carga superficial, e partículas de argila formam depósitos relativamente resistentes para ressuspensão, devido a ligações eletrostáticas no interior das mesmas (Saenger 2002). Esses sedimentos, enriquecidos de nutrientes e matéria orgânica sedimentar representam uma complexa mistura composta de detritos orgânicos, como folhas, raízes, radículas, resíduos animais, microbiais e compostos húmicos em diferentes estágios de decomposição constituindo assim, o substrato sob o qual o manguezal se desenvolve (Robertson

& Alongi 1992). As formas facilmente decompostas resultam em compostos simples que dependendo de sua composição química ficam prontamente disponíveis para a vegetação (Alongi et al.1989). Os colóides argilosos ou orgânicos têm o poder de adsorver ou fixar em forma permutável de íons, tais como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , e H^+ e estes presentes nos sedimentos representam o efeito nutricional da salinidade, associado com a nutrição de cátions, Bigarella et al.(1996). A retenção destes numa forma permutável evita sua perda por lixiviação, mantendo-os disponíveis para as plantas (Epstein 1975).

Estudos preliminares consideram que as variações espaciais das condições biogeoquímicas e hidro-edáficas indicam a existência de interações entre o meio biótico e abiótico, influenciando o padrão de distribuição das espécies de mangue. Assim, o presente estudo integra as características granulométricas, mineralógicas e físico-químicas dos sedimentos de uma floresta de mangue na península de Bragança, nordeste do estado do Pará, propondo examinar os processos biogeoquímicos e hidrológicos na dinâmica da relação sedimento/planta, como forma de subsidiar informações relevantes sobre o conhecimento do padrão espacial de mangue nessa região.

Assim, o objetivo principal, deste trabalho compreende a avaliação da distribuição da vegetação de mangue em um perfil topográfico e de inundação na península de Bragança, através da avaliação das características biogeoquímicas e mineralógicas dos sedimentos do manguezal.

Desta forma pretende-se: medir a frequência de inundação em distintos níveis topográficos na península de Bragança; realizar o levantamento florístico e fitossociológico da vegetação arbórea e herbácea halófitas; avaliar a influência da topografia na variação da frequência de inundação e nas características dos atributos dos sedimentos (umidade, matéria orgânica (MO) e a salinidade), e a disponibilidade de nutrientes, como o fósforo e os cátions trocáveis.

2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO

A área está localizada na península de Bragança, inserida na Planície Costeira de Bragança, no nordeste do estado do Pará, entre as coordenadas $00^{\circ} 43' 18''$ W – $00^{\circ} 04' 17''$ S e $46^{\circ} 32' 16''$ W – $46^{\circ} 55' 11''$ S (Figura 1).

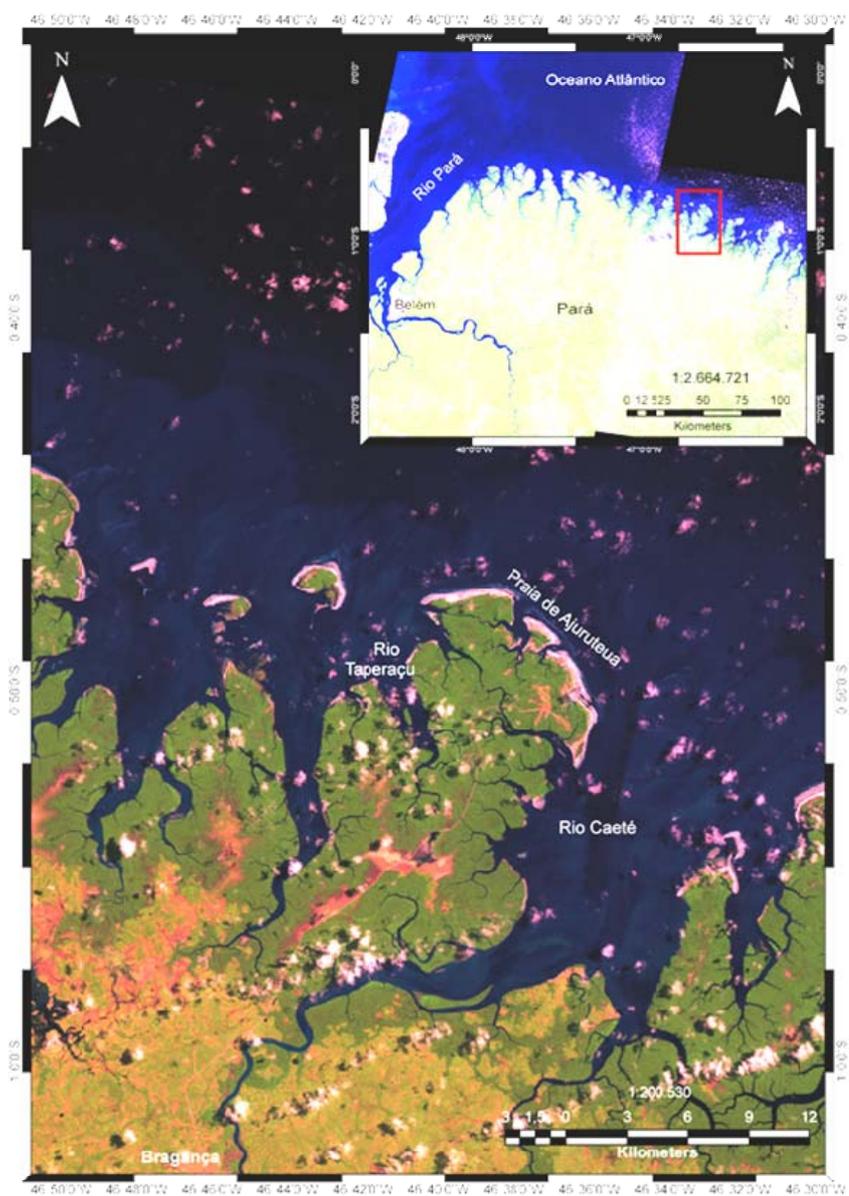


Figura 1 – Mapa de localização da península de Bragança
Fonte: (Península, 2008).

O acesso à área, a partir da capital Belém até a cidade de Bragança, se dá pelas rodovias federal BR-316 e a estadual PA-242. No percurso de Bragança até a praia de Ajuruteua. A região é caracterizada por penínsulas cortadas por canais de maré que ligam o manguezal ao estuário do rio Caeté, o qual é influenciado por macro marés (> 4m) de amplitude e velocidades de correntes que atingem até 1,5 m/s durante as marés de sizígia. Ocasão em que a maior parte do manguezal é inundada (Cohen et al. 1999).

Nessa região a média anual da temperatura é de 28° C, com precipitação pluviométrica anual em torno de 2.550 mm, com 75 % das chuvas ocorrendo entre os meses de janeiro e maio. De acordo com a série histórica, nessa região a média anual da temperatura é de 28° C, com precipitação pluviométrica anual em torno de 2.550 mm, com 75% das chuvas ocorrendo entre os meses de janeiro e maio (INMET 2009).

A partir de informações prévias sobre a região, obtidas junto à equipe de trabalho do projeto MADAM, baseadas em análises de imagens de satélite LANDSAT - fotografias aéreas e visitas ao campo, três setores da planície foram amostrados, os quais estão localizados nas planícies de supramaré e intramaré (Souza Filho 2000). As áreas foram amostradas no período de pouca chuva entre os meses de novembro a dezembro de 2005 (Figura 2).

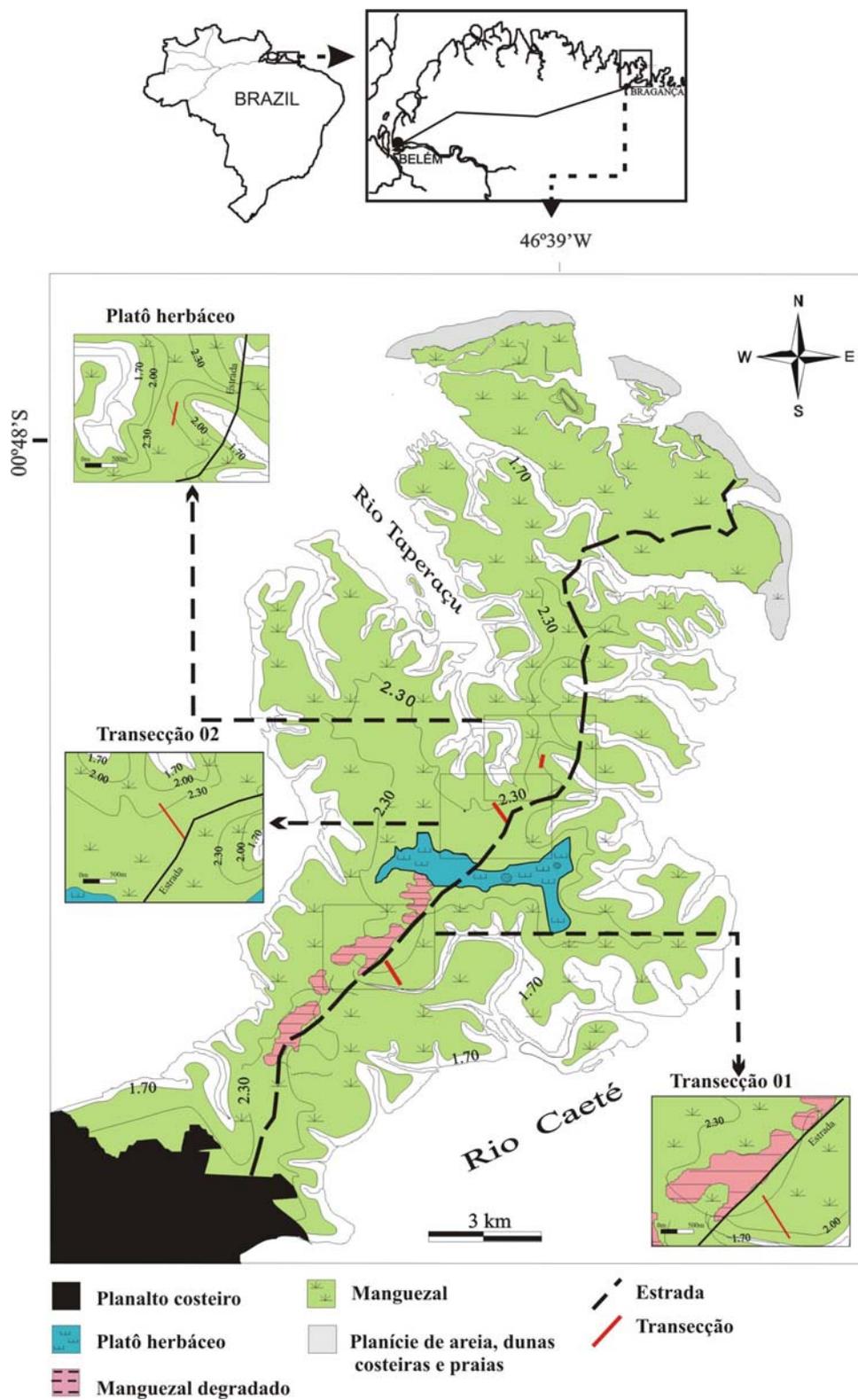


Figura 2 – Mapa de localização dos sítios amostrados
 Fonte: Modificado de Cohen et al. (2000).

2.1.1 Transecção 1 (T1)

Mangue maduro (Cohen et al. 2005a) e (Scmitt 2006), estende-se a partir da estrada Bragança-Ajurutea, em direção ao rio Caeté, com aproximadamente 600 m de extensão. A vegetação predominante é arbórea e este inicia com uma zona de bosque mono-específico colonizada por *Avicennia germinans* e atravessa um bosque Misto, colonizado por *A. germinans* e *Rhizophora mangle*, finalizando com um bosque de *R. mangle* (Figura 3).



Figura 3 Vegetação em T1- a) *A. germinans* , b) *R. mangle* c) bosque misturado com *R. mangle* e *A. germinans*, e sedimentos lamosos (no detalhe)

2.1.2 Transecção 2 (T2)

Mangue jovem (Lara & Cohen 2006) de aproximadamente 400 m de extensão. Compreende uma área de campo e uma zona de bosque. Inicia próximo à estrada Bragança-Ajurutea, por uma área colonizada por indivíduos arbustivos de *A. schaueriana* que coexistem com vegetação herbácea de *Sesuvium portulacastrum* e *Sporobolus, virginicus*; neste estudo denominado de Campo arbustivo. A partir desta área, encontra-se um bosque mais alto de

Avicennia schaueriana coexistindo com as espécies herbáceas de *S. portulacastrum*, *S. virginicus* e *Batis marítima*; neste estudo designado, bosque de *A. schaueriana* e herbácea. A transecção continua através de um bosque monoespecífico de *A. schaueriana* e finaliza com um bosque dominado por *A. germinans* em direção ao rio Taperaçu A Figura 4 mostra o tipo de vegetação e sedimento, encontrados na transecção 2.



Figura 4 - Vegetação em T2 a) *Sesuvium portulacastrum* e *Avicennia schaueriana* arbustiva, b) *Sesuvium portulacastrum*, c) árvore de *Avicennia germinans*, e sedimentos lamosos (no detalhe)

2.1.3 Platô Herbáceo (PHb)

Com aproximadamente 200 m de extensão, este sitio apresenta pequenas colonizações em forma de moitas arbustivas de *A. schaueriana* e espécies herbáceas predominantes de *S. portulacastrum* e *S. virginicus*, e ocorrência de *B. marítima* (Figura 5).



Figura 5- Vegetação no platô herbáceo a) vista frontal do platô b) *Sesuvium portulacastrum* e *Bastis marítima*, c) *Avicennia schaueriana* arbustiva, *Sesuvium portulacastrum* e *Sporobolus virginicus*, sedimentos lamosos (no detalhe)

2.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

A geologia da região integra a bacia costeira cretácea de Bragança-Viseu, cuja distribuição e espessura dos depósitos terciários e quaternários têm sido controlados pela geometria da bacia (Costa et al. 1991), paleotopografia e por movimentos tectônicos recentes. O arcabouço estrutural desta é responsável pela submersão da zona costeira, que apresenta baixo gradiente e alcança 45 km de largura na parte emersa (Souza Filho 1995), (Souza Filho & El-Robrini 1996), (Souza Filho 2000).

Estudos estratigráficos mostram que o Terciário é marcado inicialmente pela sedimentação transgressiva da Formação Pirabas, no Mioceno Inferior, e, posteriormente, pela deposição regressiva do Grupo Barreiras, de idade Miocênica-Pleistocênica (Góes et al. 1990). O Quaternário é representado por sedimentos areno-argilosos pleistocênicos, com uma denominação de “Pós-Barreiras” (Sá 1969) e por depósitos da planície aluvionar, estuarina e costeira da cobertura sedimentar recente (Souza Filho 2000). Correlação dos dados palinológicos e estratigráficos com as variações dos níveis relativos do mar, evidenciados na Formação Pirabas e Barreiras, mostram que elas formam uma única seqüência transgressivo-regressiva (Suguio 1985).

Os depósitos da Formação Pirabas são costeiros e marinhos muito ricos em fósseis e constituídos, predominantemente, por rochas carbonáticas, areia argilosa cinza escura, grossa a microconglomerática, sub-angular, com grãos arredondados a sub-arredondados. São identificados macro e microfósseis (foraminíferos), briozoários, moluscos, corais e fragmentos diversos (Góes 1990) e (Suguio (1985).

A Formação Barreiras é constituída por sedimentos argilosos, arenosos a conglomeráticos, de coloração amarelada a alaranjada, sendo freqüentes níveis de arenitos ferruginosos, pouco consolidados. Registros paleontológicos conduziram a um modelo deposicional para esta Formação, no nordeste do Pará, semelhante a um leque deltaico, com predominância de sedimentação gravitacional na fácies proximal, de processos fluviais nas intermediárias e de ambientes costeiros nas distais (Rossetti 1988), (Arai 1997), (Arai et al. 1998), assemelhando-se ao apresentado por Suguio et al. (1985).

O intemperismo dessa Formação, originando sedimentos ricos, em caulinita deve ter ocorrido em condições paleoclimáticas úmidas e quentes, mas a deposição ter-se-ia processado em paleoclima semi-árido, caracterizado por enchentes relâmpagos (Bigarella 1975).

A composição química da Formação Barreiras expõe duas assinaturas, sendo a primeira de caráter terrígeno com material interpretado como produtos intemperizados (laterítico) da área fonte (SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3) e a outra de influência marinha, indicando forte salinização e presença de diatomáceas, reforçada pela presença de Na^+ e Cl^- como halita, K-feldspato e Mg^{2+} como argilominerais (Rossetti et al. 1989), (Sousa Filho et al. 1997), (Costa et al. 2004), (Behling & Costa 2004), (Berrêdo 2006). Adicionalmente, plantas superiores, matéria orgânica derivada de algas e animais promove diagênese e nova forma de minerais (Marchand et al. 2003) e (Behling & Costa 2004). Isso também propõe dizer que a fonte de fósforo é acumulada nas plantas superiores e pode ser disponível após a degradação da matéria orgânica (Pierzynski 1993).

2.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A característica geomorfológica dominante consiste de mangues com estuário, baixios, pântanos salgados, *cheniers*, dunas de praias e depósitos de sedimentos no interior da planície de inundação (Souza Filho & El-Robrini 1997). A morfologia e fácies sedimentares do ambiente costeiro são produtos da interação entre o nível relativo do mar, processos costeiros e suprimentos de sedimentos.

A bacia costeira Bragança-Viseu está inserida em uma costa de submersão localizada a partir da Baía de Pirabas em direção a leste, com progradação do planalto costeiro em direção ao sul formando falésias mortas. O arcabouço estrutural desta bacia é responsável pelo desenvolvimento de uma zona de costa mostrando um largo ecossistema de manguezal devido a progradação de planícies de lama (Franzini 1982) e (Souza Filho 2000).

Nesse setor morfológico a zona costeira torna-se mais larga, atingindo aproximadamente 30 km de largura a partir das falésias costeiras mortas até a linha de costa. As falésias de aproximadamente 1 m de altura estão em contato direto com a planície de maré, representada por ambientes de mangue, e extensos estuários com mais que 100 Km, que se localizam a partir da linha de costa até os planaltos costeiros. Nesta zona, a feição

geomorfológica mais extensiva é a planície costeira, constituindo um ecossistema de mangue com extensão de aproximadamente 20 Km de largura, localizados a partir da altura da maré de sizígia e nível médio da maré (Souza Filho 2000).

Os sedimentos de lama orgânica são depositados nas planícies de marés durante a água da maré menos intensa, sendo sua distribuição controlada principalmente pela topografia. Com base na altimetria relativa e altura da vegetação, a planície de maré é dividida em mangue supramaré e mangue intermaré. O mangue supramaré é topograficamente mais elevado, colonizado por árvores de baixa altura, podendo ser alcançado pelas águas da maré, somente na maré de sizígia. Já os mangues intermaré são topograficamente mais baixos, recobertos pelos menos uma vez durante o ciclo de maré, com áreas progradacional e erosional (Souza Filho 2000).

2.4 ASPECTOS FLORÍSTICOS

Na zona costeira entre Pará e Maranhão, a *R. mangle* é amplamente distribuída e domina áreas estuarinas em contato com o oceano. A espécie de *A. germinans* é mais frequente em áreas elevadas e menos inundadas e sob condições mais salinas, enquanto a *A. schaueriana* tem sido registrada em diferentes locais ao longo da zona costeira próximos a praias. A espécie de *Laguncularia racemosa* ocupa as bordas da floresta, grande lacunas, sitios ciliares e outras áreas abertas (Almeida 1996) e (Menezes 2006).

Na península de Bragança a vegetação é representada pelas unidades: floresta amazônica costeira, platôs herbáceos, mangues, mangues degradados e dunas, distribuídas ao longo de faixas topográficas específicas, (Cohen et al. 2005a). Segundo esses autores, a unidade mangue encontra-se entre 1,0 a 2,4 m acima do nível médio do mar. A vegetação arbórea dominante caracteriza-se por espécies bem desenvolvidas de *R. mangle*, *A. germinans* e *L. racemosa*, com árvores variando em torno de 20 m de altura (Lara & Dittmar 1999). Na parte mais elevada da planície, a vegetação herbácea encontrada é o *S. portulacastrum*, *S. virginicus*, *Eleocharis geniculata* e *Fimbristylis spadicea* (Ciperaceae) (Lara 2003).

Em outros lugares desta região, as espécies de *R. mangle* e *A. germinans* formam bosques quase puros e bosques mistos no interior de apenas um hectare. Essa variação é atribuída às condições edáficas do local (Silva & Fernandes 2004)

No que diz respeito aos padrões de ocorrência da vegetação na área de estudo, trabalhos relevantes foram conduzidos, na península de Bragança por meio do Programa Científico de Manejo e Dinâmica de Áreas de Manguezais – MADAM, no qual está inserido grande parte deste trabalho. O Programa MADAM foi uma cooperação científica bilateral entre os governos do Brasil e Alemanha por intermédio do Núcleo de Meio Ambiente da Universidade Federal do Pará – NUMA e o Centro de Ecologia Marinha Tropical da Universidade de Bremen – ZMT; com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) no Brasil, e do Ministério de Educação, Ciência, Pesquisa e Tecnologia (BMDF) na Alemanha (Berger et al. 1998) e (Nordhaus 2004).

Estudos apoiados por este Programa mostram que a frequência de inundação, sob regime de macro-marés, é apontada como principal característica hidrodinâmica desse manguezal. Essa característica e a presença de numerosos canais de maré indicam que a dinâmica de nutrientes nessa área pode ser governada por escoamento superficial e pela entrada da água intersticial inter-relacionada com a inundação da maré (Lara & Dittmar 1999).

Observações de campo e através de um mosaico de imagens de radar e LANDSAT no intervalo de 1972-1997 registraram a dinâmica de perdas e ganhos da cobertura de manguezal na planície costeira de Bragança e áreas adjacentes. Esses resultados indicaram uma perda líquida de cobertura de aproximadamente 166 km de comprimento, equivalente a 3,25%. A morte da vegetação foi atribuída principalmente a processos erosivos do terreno e/ou migração dos depósitos arenosos em direção ao continente, que se depositaram sobre os depósitos de lama do manguezal. Na mesma análise temporal, na parte central da península, foi registrada perdas líquidas na cobertura vegetal herbácea de 1,6% por ano nas planícies mais baixa. Por outro lado, na topografia mais elevada há evidências de uma transição ativa entre vegetação herbácea e floresta de manguezal (Lara et al. 2003).

A sedimentação de lama tem permitido o desenvolvimento de mangues em torno de aproximadamente 19%, e avanço da floresta de mangue na planície de herbáceas nos setores mais altos da península de Bragança. Possíveis oscilações cíclicas de grande escala de regime de ventos ou correntes geraram modificações na dinâmica sedimentar local, incluindo período de ganhos e perdas na cobertura vegetal do manguezal. Esses períodos foram relacionados a uma tendência de longa duração, compatível com o aumento da variação do nível do mar, causando

morte dos manguezais na periferia e sua progradação na parte central da península (Lara et al. 2003).

3 ESTADO DA ARTE

3.1 ORIGEM E DISTRIBUIÇÃO DOS MANGUEZAIS

Os manguezais têm sua origem na região Indo-Pacífica a 60 milhões de anos A.P, no Cretáceo ligada a origem das planícies sedimentares. A umidade e o calor dos trópicos apresentam condições ideais para o seu desenvolvimento, em conjunto com altas amplitudes de marés e suprimento adequado de água doce e de nutrientes. A área coberta por florestas de mangue do mundo situa-se entre 14 a 15 milhões de ha, sendo a Malásia, Índia, Brasil, Venezuela, Nigéria e Senegal os países onde se concentram as maiores florestas (Chapman 1975), (Odum et al. 1982), (Lacerda 1984), (Schwamborn & Saint-Paul 1996).

A transgressão marinha global do Mioceno influenciou táxons de mangue, como *Rhizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia*, criando condições favoráveis para sua expansão biogeográfica, ocupando novos *habitats* e substituindo com sucesso uma antiga flora continental de água doce (Senna & Absy 2003). A evolução e a biogeografia histórica da vegetação da planície costeira norte da América do Sul têm início no Cenozóico Inferior com o estabelecimento da vegetação de mangue representada pela presença de pólen de *Rhizophora* (Graham 1995) e (Senna & Absy 2003). Os gêneros modernos de mangue foram somente registrados a partir do Paleoceno.

No Brasil, até aproximadamente 5.150 anos A.P., a maior parte da costa brasileira encontrava-se submersa devido à última transgressão, que posteriormente seguida de uma regressão, resultou na formação de terraços marinhos e transformações de lagunas em lagoas e posteriormente em pântanos salobros (Suguio 1985). Os mais extensos e exuberantes manguezais do litoral brasileiros estão localizados no estuário do rio Amazonas e delta do rio Parnaíba, correspondendo aos estados do Amapá, Pará, Maranhão e Piauí. No litoral paraense a ocorrência de vegetação litorânea, tipo mangue é expressiva, atingindo uma área estimada em 2000 km², com 270.000 ha no NE do Pará (Senna 2002).

Portanto, pelo menos três episódios climáticos significativos marcam a presença da vegetação de mangue: o primeiro na transição pós-glacial Pleistoceno-Holoceno (10.000 - 7.000 anos A.P.), com subida do nível marinho e estabelecimento de bosques de mangue, representados principalmente por elementos de *Rhizophora*; o segundo no recuo do nível do mar (7.000 – 5.000

anos A.P), com brusca mudança na composição florística dos meios aquáticos, e substituição da flora de mangue por savanas, nas Guianas e por vegetação de mangue de pântanos de água doce (igapó) no estado do Pará. O último episódio (2.500 até o presente) representa uma nova fase transgressiva marinha com retomada dos antigos espaços de água doce da fase anterior, pelos bosques de mangue (Senna & Absy 2003).

Ao longo da costa Pará-Maranhão, a altura média da maré atinge valores de até 6 a, 8 m. Assim, durante as marés de sizígia, grandes áreas costeiras são inundadas como resultado do grande aporte fluvial e pela maré de enchente. Como resultado a região costeira entre o Pará e Maranhão está sendo rapidamente progradadas na direção do oceano, e colonizada por mangues (Cavalcante Segundo 2007).

No nordeste do Pará, as características geológicas aliadas à estabilidade ou queda relativa do nível do mar, a partir de 5.200 anos A.P. e contínuo suprimento sedimentar fluvial, como resultado do grande transporte fluvial tem permitido a progradação da planície lamosa e desenvolvimento do sistema de manguezal (Souza Filho & El-Robrini 1995). Seqüências basais transgressivas, constituídas por lama e areia de origem marinha/estuarina e uma seqüência regressiva de lama orgânica de pântano salgado e planície de maré (manguezais), posicionada atrás de um cordão arenoso transgressivo, foi identificada na planície costeira de Bragança (Souza Filho 1998). Os mangues de Bragança são representados estratigraficamente por um extenso pacote de lama (> 6m) rico em matéria orgânica, colonizados principalmente por indivíduos de *R. mangle*, *A. germinans* e *L. racemosa* (Souza Filho 1995).

Os primeiros *habitats* de mangue na península de Bragança provavelmente começaram a se desenvolver na área do Campo salgado próximo a elevação do nível relativo do mar atual à aproximadamente 5100 anos A.P. Entre os anos de 1800 e 1400 A.P. esta área sofreu uma diminuição máxima de 1m abaixo do nível relativo do mar (NRM) atual, seguida por um aumento gradual até 1000 anos A.P., quando o atual NRM foi alcançado. O atual 168 km² de área de mangue de Bragança começaram a se desenvolver no meio da península e desapareceu com assoreamento contínuo e/ou queda da NRM. Foi substituída acerca de 400 anos A.P. por vegetação de herbácea (*Cyperaceae* e *Poaceae*) (Coehen & Lara 2003).

3.2 MANGUEZAIS E NUTRIENTES

Árvores de mangue são halófitas. Apresentam uma série de adaptações nos sedimentos submergidos e, órgãos especiais para a excreção de sal. Seu crescimento em ambientes desprovido de O_2 se dá por meio do transporte deste gás, absorvido através das lenticelas das estruturas das raízes aéreas (pneumatóforos, no caso da *Laguncularia* e *Avicennia* e rizóforos, no caso da *Rhizophora*), para as raízes subterrâneas, difundindo-o nas vizinhanças do sedimento, dando a estas a habilidade de repelir produtos de redução tóxica, acumular nutrientes, e oxidar o sedimento nas proximidades de suas raízes (rizosferas), modificando assim as condições físico-químicas deste.

O transporte de O_2 através da rede de poros é muito mais lento do que em solos bem drenados. Desta forma, o O_2 presente na água ou na rede de poros destes sedimentos é prontamente consumido por microorganismos, e assim grande parte do substrato torna-se rapidamente anóxico. Assim, as características desses sedimentos e a distribuição dos compostos reduzidos de acordo com a profundidade estão diretamente relacionadas às reações de oxidação e redução que aí ocorrem (Ponamperuma 1972), (Fenchel et al. 2000), (Kirk 2004). A redução de sedimentos inundados ocorre na seguinte sequência termodinâmica: (O_2 , NO_3^- , Mn^{4+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} , CO_2 , N_2 e H^+) (Stumm & Morgan 1981) e (Libes 1992).

As propriedades físico-químicas do solo são controladas em grande parte pelos minerais, especialmente os que constituem a fração argila, comumente composta da mistura de um ou mais filossilicatos junto com os óxidos-hidróxidos de ferro (Whitting & Allardice 1986). O ferro é uma espécie redox abundante, estando presente como óxido de Fe^{3+} (Kirk 2003). O ciclo redox do ferro é regulado por fatores químicos e biológicos e a especiação deste é controlada pelas taxas de redução do sulfato e processos de oxi-redução dos sedimentos (Ponnaperuma 1972).

Em sedimentos inundados a redução do ferro é acompanhada por: a) solubilidade na solução do solo, como Fe^{2+} ; b) aumento do pH; c) liberação dos cátions dos sítios trocáveis; d) aumento na solubilidade do fósforo e da sílica, e) formação de novos minerais (Ponnaperuma, 1972). A formação de pirita em um ambiente altamente reduzido em uma floresta de mangue em Kosrae, Micronésia sugeriu que a decomposição e mineralização de compostos orgânicos ligados

ao fósforo (P) pode ser responsável pela relação P/redox, com estreita dependência da relação sulfeto/ferro reativo controlando a disponibilidade do P nesse ambiente (Geason et al. 2003).

Por outro lado, o oxigênio radial liberado pelas raízes pode imobilizar ferro através da oxidação de Fe^{2+} , que é precipitado como óxidos-hidróxido de Fe^{3+} , resultando em uma zona de acumulação deste elemento nas proximidades das raízes, geração de H^+ e conseqüentemente, redução do pH (Begg et al. 1994)

O fornecimento de P às raízes, portanto, depende do equilíbrio entre a absorção dos óxidos e hidróxidos de Fe^{3+} e a liberação de formas solúveis em meio ácido.

Em sedimentos intermitentemente alagado, como o dos manguezais, as condições anóxicas afeta o equilíbrio do sistema $\text{Fe}(\text{OH})_3\text{-Fe}^{2+}$ (Ponnamperuma 1972). Desta forma, fósforo fortemente ligado a Fe e Al pode ser solubilizado sob condições redutoras.

Na maior parte do crescimento natural os ecossistemas vegetais são limitados pela disponibilidade de fósforo inorgânico (Smith et al. 2003). Os principais processos responsáveis pela manutenção do balanço cátion-ânion nas plantas e alterações no valor do pH da rizosfera são: liberação de íons H^+ ou OH^- e de acumulação e degradação de ácidos orgânicos (Haynes & Stern 1990).

A geração de acidez ou alcalinidade na rizosfera é diretamente influenciada pelas raízes das plantas, dado que a desigualdade de cátions e ânions geralmente é absorvida. A fim de manter a neutralidade de carga na interface solo-raiz. A absorção de ânions de P (PO_4^{2-} , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}), pode estequiometricamente ser equilibrada pela expulsão de OH^- , processo similar ao que ocorre na captação do cátion NH_4^+ , (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) que é equilibrada pela exclusão de H^+ (Haynes & Stern 1990).

Os cátions trocáveis nos sedimentos são a fonte primária de nutrientes para as plantas. As paredes das células das raízes negativamente carregadas possuem uma dupla camada difusa externa, onde cátions são concentrados e ânions excluídos (Russel 1973).

Para a sua manutenção, os ecossistemas florestais dependem de sua capacidade para circular e acumular os nutrientes existentes nos diferentes compartimentos. A ciclagem de nutrientes em um ecossistema florestal é um dos processos mais importantes para a garantia da sua sustentabilidade. Essa ciclagem ocorre em particular através da decomposição da serapilheira que desempenha um papel essencial no crescimento das plantas. As folhas da serapilheira são responsáveis pelo retorno de importante soma de nutrientes ao solo (Boeger et al. 2005).

Florestas de mangue sustentam uma grande produtividade costeira, geralmente associada ao fornecimento de matéria orgânica e nutriente provenientes da sua vegetação (Pool et al. 1975). Nos sedimentos do manguezal de Bragança, o valor da relação C/N (13-21) sugere fonte marinha e terrestre para a matéria orgânica sedimentar (Schwendenmann 1998), (Schmitt 2006), (Cordeiro et al. 2007). Valores da composição isotópica do carbono $\delta_{13}C$ na área de estudo, indica entrada de liteira de mangue nesses sedimentos (Schmitt 2006).

Significativa concentração de fósforo nas folhas de *R. mangle* e *A. germinans* foram encontrados em T1, na área mais inundada colonizada por *R. mangle*, associada a maior concentrações de fósforo disponível nos sedimentos (Cordeiro et. al 2003). Aí, valores da relação C/P (< 200), apontam para uma rápida mineralização de P, de acordo com Pierzynsky et al. (2005) e (Cordeiro et al. 2007). No manguezal de Marapanim, as folhas de *Rhizophora* apresentam enriquecimento de Mg, Ca e P (Vilhena 2006).

Nos mangues da baía de Sepetiba (RJ), a dinâmica do P nos sedimentos e vegetação, mostrou que as folhas contribuem com 63% da biomassa de P em relação a raízes áreas e subterrâneas. Porém, esse resultado não foi considerado significativo para o estoque do fósforo nessa floresta já que 90% deste, considerando (árvores e sedimentos) ficaram retidos nos sedimentos na forma de fosfato de cálcio, possivelmente como mineral de apatita (Silva et al. 1998).

A alta produtividade do manguezal de Bragança é avaliada na sua eficiente reciclagem interna de nutrientes na água intersticial, proveniente da camada superior dos sedimentos, como resultado da lixiviação dos compostos facilmente degradados, apoiada na exportação de fósforo, silicato e $N-NH_3^+$ (Lara & Dittmar 1999) e (Dittmar 1999) e da matéria orgânica particulada e dissolvida (Dittmar et al. 2001), (Dittmar & Lara 2001), (Dittmar et al. 2006), para o ambiente costeiro, numa taxa de exportação superior a de outros manguezais do mundo (Dittmar & Lara 2001),(Dittmar et al. 2006), (Tremblay et al. 2007).

Nesse ambiente a frequência de inundação em dependência tanto com a topografia, quanto com ao regime das marés, provavelmente é um parâmetro importante a ser considerado nos processos de troca entre os sedimentos e água de inundação, afetando a mobilidade de nutrientes (Cohen et al. 2004).

4 MÉTODOS

4.1 MEDIDAS DE FREQUÊNCIA DE INUNDAÇÃO

As medidas de FI foram efetuadas sob maré de sizígia, momento em que todo o mangue é inundado, por meio de um modelo de elevação digital (Cohen et al. 2000). Ao longo das transecções foram tomadas medidas da altura do nível da água relativo à superfície do terreno, corrigidos à altura da maré no canal de referência no mangue de Bragança (Furo do Chato) e posteriormente ajustado ao nível médio do mar (ilha dos Guarás). Esses valores referidos e ajustados ao mapa topográfico nas proximidades do Furo do Chato fornecem o número de dias durante o ano em que a área é inundada.

4.2 LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO

As áreas foram inventariadas utilizando-se o método das parcelas para as espécies arbóreas e adaptadas para áreas de vegetações herbáceas (Mueller-Dombois & Ellenberg 1974), com os métodos descritos por (Schaeffer-Novelli & Citron 1986) e (Martins 1991) utilizados para a avaliação das características estruturais da floresta.

4.2.1 Vegetação arbórea

O método das parcelas foi selecionado por fornecer dados precisos da área amostral, densidade e dominância das espécies (Cullen et al. 2004). As parcelas em cada transecto foram marcadas com auxílio de trena, na dimensão de 20 x 20 m, equidistantes de 20 metros. Sendo inventariadas nove parcelas (T1) e seis (T2), perfazendo um total de 6.000 m².

Em cada parcela, foi registrado o número de indivíduos, da circunferência à altura do peito (CAP), a 1,3 m de altura, para árvores que apresentavam morfologia normal. E para espécies arbustivas foram medidos o diâmetro ao nível do solo (CAS), a 0,5 m do chão. Os dados de altura foram estimados com o auxílio de uma régua de 2 m de altura, por um único

observador com o objetivo de minimizar erros. Já para medidas do CAP e CAS, utilizou-se fita métrica. O cálculo do diâmetro foi realizado dividindo-se a circunferência do tronco por π (3,1416) e considerando-se o mesmo na forma circular.

Para a análise estrutural da vegetação arborea, os seguintes parâmetros foram obtidos:

- Densidade Absoluta (DA)

Indica o número de indivíduos de determinada espécie por unidade de área em hectare (ha).

$$DA = \frac{n_i}{A} \times 10^4 \quad (4)$$

n_i – número de indivíduos da espécie i ;
 A – área amostrada em m^2 .

- Densidade Relativa (DR)

Expressa em porcentagem a relação do número total de indivíduos de uma espécie e o número total de indivíduos de todas as espécies presentes na amostragem total.

$$DR = \frac{n_i}{N} \times 100 \quad (5)$$

n_i – número de indivíduos da espécie i ;
 N – número total de indivíduos de todas as espécies.

- Frequência Absoluta (FA)

Representa em porcentagem a relação entre o número de parcelas em que ocorre uma determinada espécie e o número total de parcelas amostradas.

$$FA = \frac{N_{pi}}{N_p} \times 100 \quad (6)$$

N_{pi} – número de parcelas onde ocorre a espécie i ;
 N_p – número total de parcelas amostradas.

- Frequência Relativa (FR)

Indica em porcentagem a relação entre a frequência absoluta de uma determinada espécie e a soma das frequências absolutas de todas as espécies.

$$FR = \frac{FAi}{\Sigma FA} \times 100 \quad (7)$$

(FAi) – frequência absoluta de uma determinada espécie i;
 Σ FA – soma das frequências absolutas de todas as espécies.

- Dominância

O grau de dominância fornece uma noção do grau de influência que cada espécie exerce nos demais componentes do ecossistema. Para vegetação arbórea, a dominância é frequentemente analisada por meio da área do caule a 1,30 m de altura do chão da floresta. Assim, a Dominância Absoluta representa a área dos caules dos indivíduos de uma determinada espécie em uma unidade de área. Dentre os vários parâmetros utilizados para representar a Dominância Absoluta em florestas, freqüentemente se utiliza a área basal, que é a área da secção transversal do tronco, a partir da medida de um único diâmetro (Martins 1991).

- Área Basal (Dominância Absoluta - DA)

$$AB = \frac{\left[\left(D^2 \times \frac{\pi}{4} \right) \times 10^4 \right]}{A} \quad (8)$$

AB – área basal expressa em unidade de área em hectare;
 D – diâmetro a altura do peito do tronco de cada indivíduo;
 A – área total amostrada (m²).

- Dominância Relativa (DoR)

$$DoR = \left(\frac{ABi}{\Sigma AB} \right) \times 100 \quad (9)$$

ABi – área basal total de cada espécie;
 Σ AB – soma das áreas basais de todos os indivíduos pertencentes a espécie.

- Valor de importância (VI)

Indica o valor de importância da espécie em uma determinada área amostrada. É a soma dos valores relativos de densidade, frequência e dominância de uma determinada espécie.

$$VI = DRI + FRi + DoRi$$

(10)

DRI – Densidade relativa
 FRi – Frequência relativa da espécie i.
 DoRi – Dominância relativa da espécie i;

4.2.2 Vegetação herbácea

Nas áreas que apresentam estrato herbáceo e arbustivas, foi estabelecida uma linha de base de 100 m (campo arbustivo) e de 200 m (PHb), utilizando-se uma tabela de números aleatórios, ou seja, cinco números foram sorteados e marcados ao longo desta linha. A partir destes e perpendicularmente à linha de base, foram lançadas 20 parcelas contíguas, marcadas alternadamente ao longo da linha, cada uma com tamanho de 1 m², sendo que nessas parcelas foram registrados nomes de cada espécie, cobertura percentual e porcentagem de área com detritos e desnuda. Os parâmetros fitossociológicos determinados foram: dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR), frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR) e índice de valor de importância (IVI), de acordo com Brower & Zar (1984). Com relação às espécies arbustivas foram registrados o número de indivíduos e o diâmetro ao nível do solo (CAS), a 0,5 cm do chão.

- Dominância Absoluta (DoA)

Indica a proporção do terreno ocupado pela projeção vertical das partes aéreas da planta sobre o solo.

$$\text{DoA} = \frac{C_i}{A} \quad (11)$$

C – área percentual total coberta Por uma espécie i;
A – área total amostrada (m²).

- Dominância Relativa (DoR)

Representa em porcentagem a relação entre a dominância absoluta de uma determinada espécie e o total das dominâncias absolutas de todas as espécies.

$$\text{DoR} = \left(\frac{\text{DoA}_i}{\Sigma \text{DoA}} \right) \times 100 \quad (12)$$

DoA – dominância absoluta de uma espécie i
 ΣDoA – somatório da dominância absoluta de todas as espécies.

- Frequência Absoluta (FA)

Indica a relação entre o número de parcelas onde ocorreu determinada espécie e o número total de parcelas amostradas.

$$\text{FA} = \frac{N_{pi}}{N_p} \times 100 \quad (13)$$

N_{pi} – número de unidades amostrais que contém uma espécie i
N_p – número total de unidades amostrais.

- **Frequência Relativa (FR)**

Expressa em porcentagem a relação entre a frequência absoluta de uma determinada espécie e a soma das frequências absolutas de todas as espécies.

$$FR = \frac{FAi}{\Sigma FA} \times 100 \quad (14)$$

FAi – frequência absoluta de uma espécie i;
 Σ FA – total das frequências absolutas de todas as espécies.

- **Valor de Importância (VI)**

Neste trabalho, não foram obtidos valores de densidade. Desta forma, para a vegetação herbácea o VI, foi considerada a soma da Dominância relativa e das frequências.

$$VI = FRi + DoRi \quad (15)$$

FRi – Frequência relativa da espécie i.
 DoRi – Dominância relativa da espécie i;

4.3 SEDIMENTO

4.3.1 Coleta

Os sedimentos foram amostrados nas parcelas estabelecidas para a determinação da estrutura e a composição florística na profundidade de 0 a 30 cm e separados em sub-amostras de 0-5; 5-10; 10-15; 15-20 e 20-30 cm, com amostrador cilíndrico metálico especial para coleta em sedimentos lamosos. O material coletado foi envolto em filme plástico e acondicionado abaixo de 4° C até o momento das análises em laboratório. Para a determinação da salinidade, umidade e matéria orgânica, estas foram resfriadas e homogeneizadas. Na realização da análise granulométrica, caracterização mineralógica, composição química e observações ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), as amostras foram liofilizadas.

4.3.2 Análises de Laboratório

4.3.2.1 Análise granulométrica

As amostras foram desagregadas em ultrassom por 4 min., e passadas em peneiras de 0,63 mesh. A fração retida na peneira ($> 0,63$) foi seca em estufa (80°C), até a secura e pesada como fração areia. A separação granulométrica da fração $< 0,63$ mesh foi realizada pelo método da decantação contínua (Sugiuo 1973), em cilindro de Atteberg após a eliminação da matéria orgânica e óxidos e hidróxido de ferro.

As amostras receberam tratamento prévio de retirada dos sais solúveis (Kunze 1965) e (Sugiuo 1973). Posteriormente, foram submetidas ao tratamento com peróxido de hidrogênio a 30% sob aquecimento, para retirada da matéria orgânica. A remoção de ferro livre foi realizada por repetido tratamento com bicarbonato de citrato ditionito (DCB), com o objetivo de facilitar a concentração dos silicatos (Jackson 1969) e (Camargo et al. 1986).

A fração argila ($< 2\ \mu$) foi obtida pela retirada do volume do cilindro em intervalos de 6 h, até a transparência do líquido. A suspensão foi então floculada e centrifugada. O material acumulado e retido no cilindro foi transferido para becker de 100 ml, levado à secura na temperatura de 80°C e pesado como a fração silte. A fração argila foi obtida pela diferença entre o peso seco inicial da amostra e a soma da fração areia e silte. As análises granulométricas foram tratadas com o software SYSGRAN 3.0, adotando a classificação de (Folk & Ward 1957) (Figura 6). A determinação dos argilominerais foi realizada na fração ($< 2\ \mu$). Sub-amostras dessa fração foram submetidas aos seguintes procedimentos: 1) três varreduras de raios-x: seca ao ar, glicolada e aquecida (Brown 1972) e (Thorez 1976); 2) saturadas com cloreto de potássio (KCl), e; 3) saturadas com cloreto de magnésio (MgCl). As amostras de argila saturadas com potássio (K^+) receberam tratamento térmico (110 , 350 , e 550°C) enquanto as amostras saturadas com Mg^{2+} foram glicoladas de acordo com Kunze (1965) e Camargo et al. (1986).

4.3.2.2 Análise mineralógica

4.3.2.2.1 Identificação mineralógica por difração de raios-x (DRX)

Para a análise total as amostras, foram pulverizadas em gral de ágata e prensadas em forma de pastilhas sólidas.

As análises foram realizadas em Difratorômetro de Raios-X modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), da PANalytical, com Goniômetro PW3050/60 (Theta/Theta) e com tubo de raios-X cerâmico de anodo de Cu ($K\alpha_1=1,540598 \text{ \AA}$), modelo PW3373/00, foco fino longo, 2200 W, 60 kv. Foi utilizado filtro $K\beta$ de Ni. O detector utilizado foi o X'Celerator, do tipo RTMS (*Real Time Multiple Scanning*), atuando no modo *Scanning* e com um *active length* de $2,122^\circ$. Foram utilizadas as seguintes condições instrumentais: a) para a análise total, varredura de 5° a $65^\circ 2\theta$, fenda divergente de $1/2^\circ$ e anti-espalhamento de 1° . Movimento da amostra: spinning, com 1 rotação / s. b) para os argilominerais, varredura foi de 3° a $35^\circ 2\theta$, fendas divergentes $1/8$ e anti-espalhamento $1/4$ e passadas sem movimentação de spinning. As leituras foram realizadas com voltagem: 40 kV, corrente: 40 mA, tamanho do passo: $0,02^\circ 2\theta$ e tempo/passo: 5 s. Utilizando Máscara de 10 mm.

A aquisição de dados foi realizada com o software X'Pert Data Collector, versão 2.1a, e o tratamento dos dados com o software X'Pert HighScore versão 2.1b, também da PANalytical, do laboratório de Raios-X do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará. A identificação dos minerais foi feita por comparação entre os difratogramas dos diferentes tipos de lâmina. (Software X'Pert HighScore) e (Moore & Reynolds 1989).

4.3.2.2.2 Determinação semiquantitativa dos argilominerais

O percentual de cada fase foi calculado pela área do pico da reflexão basal, dividido pelos respectivos poderes refletores. Os quocientes obtidos foram convertidos em percentuais relativos considerando sua soma igual a 100 % (Gomes 1988).

4.3.2.2.3 Microscopia eletrônica - MEV

Para a obtenção das imagens ao MEV, as amostras de sedimentos foram, inicialmente, pulverizadas em gral de ágata e montadas em suportes de alumínio e depois metalizadas com ouro. As imagens foram obtidas utilizando-se o microscópio eletrônico de varredura modelo LEO 1450VP, no Laboratório de Microscopia Eletrônica do Museu Paraense Emílio Goeldi. As imagens de elétrons secundários e de elétrons retroespalhados foram adquiridas utilizando-se voltagem de 15 kV. As micro-análises semiquantitativas foram realizadas por meio de detector de EDS (“Energy Dispersive Spectroscopy”) marca Gresham, equipado com janela de Berílio e analisador multicanal Q500, acoplado ao MEV, utilizando software IXRF.

4.3.2.3 Composição química total

Para a análise da composição química total dos sedimentos são utilizados 5g de amostra composta de sedimento (0–30 cm) foram enviados para Activation Laboratories, Ltd/Canadá-Actlabs. A metodologia empregada foi uma abertura total realizada através de fusão com metaborato/tetraborato de lítio e solubilização ácida. A determinação dos elementos foi feita por espectrometria de massa, com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), segundo o método Codes Lithogeochem Standard Package e materiais de controle W2 e WHG-1 (ACTLABS Group website 2000).

4.3.2.4 Umidade e Matéria orgânica

Para essa determinação umidade, pesa-se 5g de sedimento fresco (Pi) e depois de seco em estufa a 100° C por 24 horas (Pfl). A perda de peso (água) é expressa como percentagem de matéria seca.

O conteúdo de matéria orgânica total (MO) dos sedimentos é determinado a partir da perda em peso quando a matéria orgânica é destruída. Isso é estimado na mesma amostra seca após ignição (550° C, 4 h) (Pf2). A perda de peso é expressa como percentagem de matéria orgânica. O cálculo da umidade e matéria orgânica é feito segundo as Equações 1 e 2 (Mendoza 2007).

$$\text{Umidade(\%)} = \frac{(P_i - P_{f1})}{P_i} \times 100 \quad (17)$$

$$\text{Matéria orgânica(\%)} = \frac{[P_i - (P_{f2} - P_{f1})]}{P_i} \times 100 \quad (18)$$

4.3.2.5 Salinidade

O total de sais solúveis foi determinado no extrato de uma mistura sedimento-água numa proporção de 1:5, depois de homogeneizados com bastão de vidro e decantados por 12 horas. Medidas de condutividade foram realizadas no sobrenadante utilizando condutímetro marca (WTW-LF 197). O resultado da condutância específica do sedimento foi expresso como conteúdo de sais nas amostras, segundo (Ensminger 1996).

$$K_s = \frac{K_e * \left[\left(\frac{W \times M}{100} \right) + V_m \right]}{\left(\frac{W \times M}{100} \right)} \quad (16)$$

K_s (‰) – Concentração de sais calculada da amostra de sedimento;

K_e (‰) – Concentração de sais no extrato;

W (g) – Peso da amostra de sedimento;

M (‰) – Conteúdo de umidade do sedimento;

V_m (ml) – Volume de água usado para preparar a mistura de sedimento-água 1:5.

4.3.2.6 Fósforo

O método da ignição de Leeg & Black's (1955) foi utilizado para determinação dos teores do P-total e P-inorg. Esse método foi selecionado por um padrão satisfatório de determinação de fósforo utilizado para outros mangues brasileiros (Silva (1992), (Silva et al. 1998), (Silva & Sampaio 1998). Para o P-total, 0,4 g de amostra seca são levados à mufla (240°C, 1 h), para o processo de ignição. Posteriormente, são adicionados 4 ml de ácido clorídrico concentrado (HCl), aquecidos em banho-maria por (60° C, 20 min). Após atingir a temperatura ambiente, uma quantidade de 5 ml HCl é adicionada e logo depois agitada por 30 minutos. Após diluição do sobrenadante, as concentrações de fósforo são determinadas por colorimetria. O P-inorg. é analisado pelo mesmo procedimento, porém sem a etapa da ignição. O P-org. é calculado de forma indireta pela diferença entre o P-total e o P-inorg. A análise química é conduzida em duplicata e o erro experimental é expresso como coeficiente de variação (% CV) em torno de 5 %.

A Extração de Morgan foi utilizada para determinar a soma de fósforo total na amostra que pode ser rapidamente disponível para as plantas, denominada neste trabalho como P-biodisponível, forma inorgânica, ocorrendo na solução do sedimento que se encontra quase exclusivamente na forma de ortofosfato (Hesse 1971).

4.3.2.7 Capacidade de troca catiônica (CTC)

A determinação da CTC é realizada pela saturação da amostra de sedimento com um cátion índice (Ca) que em seguida é colocado em solução por um cátion deslocante (Na), em condições de pH 7. A amostra (0,4 g) livre de sais solúveis é saturada com solução de acetato de cálcio 1 N pH 7,0 e posteriormente uma solução de acetato de sódio 1 N pH 7 é utilizada para promover a troca do cálcio pelo sódio, na superfície de saturação dos sedimentos (Camargo et al. 1986) modificado por Lara (neste estudo). A determinação é realizada por espectrofotômetro de absorção atômica, modelo CGAA 904 utilizando comprimento de onda de 422,7 com erro da análise de 0,057 %,

4.4 VEGETAÇÃO

4.4.1 Coleta

Para as espécies arbóreas, em cada parcela, foram amostradas três estações de coleta para o material biológico. Em cada estação foram escolhidas uma árvore principal e duas vizinhas da mesma espécie, considerando a proximidade das copas. Nestas, coletas de folhas foram realizadas compondo uma única amostra. A amostragem deu-se aproximadamente na parte mediana das árvores, em volta de toda a extensão do caule, levando-se em conta as áreas expostas e não expostas ao sol. Posteriormente, o material foi acondicionado em sacos de papel “kraft” até a chegada ao laboratório.

Ressalta-se que a vegetação herbácea foi amostrada por inteiro (folhas, caule e raízes) de forma representativa no interior das parcelas de 1 m², e acondicionadas de modo similar ao das folhas.

4.4.2 Análises químicas

- Fósforo nas folhas

No laboratório, folhas, caule e raízes são abundantemente, lavados com água destilada, e em seguida secas em temperatura ambiente e em estufa (60° C) até peso constante. Após a secagem, são triturados em gral de porcelana e calcinados (450° C, 24 h) Allen (1989). As cinzas são resfriadas em dessecador e 20 mg e transferidas para frascos de teflon. Nesses frascos, um volume de 0,5 ml de reagente oxidante (5 g de persulfato de potássio (K₂S₂O₈) em 100 ml de solução 4,5 M de ácido sulfúrico (H₂SO₄) (Grasshoff et al. 1983), é adicionado juntamente a 5 ml de água destilada. As amostras são autoclavadas a (115° C, 30 min) nos frascos de teflon fechado (Grasshoff et al. 1983) e (Ward 1996). Após digestão, 5 ml da solução são utilizadas para a determinação colorimétrica.

4.5 CONTROLE DE QUALIDADE ANALÍTICA

- Fósforo

É realizada a calibração de verificação contínua nos padrões das análises, por para demonstrar que a calibração mantém-se válida durante a corrida analítica. O controle é feito durante as análises, considerando padrões frios (C1 a C6) e autoclavados (C1a, C3a e C6a) com concentrações conhecidas de PO_4^{3-} (Rossi 2005).

Paralelamente ao procedimento acima, é efetuada uma verificação contínua do branco dos padrões (BP) a frio (Bf1 e Bf2) e autoclavado (Ba1 e Ba2), para verificar possíveis interferentes presentes no ambiente do laboratório (reagentes vidrarias e equipamentos). No final dos procedimentos, as médias dos brancos frios e autoclavados são comparadas. E seus valores são assim subtraídos: 1) as médias dos brancos Bf1 e Bf2 dos produtos C1 a C6; 2) as médias das leituras dos brancos Ba1 e Ba2 dos padrões C1a, C3a e C6a.

Os valores das concentrações da corrida a frio e autoclavada iguais e próximos a zero mostram que o processo analítico não sofre as interferências acima mencionadas.

Para avaliar a eficiência da extração do P na vegetação pelo método colorimétrico (digestão com solução acidificada de persulfato de potássio), é determinada a concentração de P no *Standard Reference Material – 1515- Apple Leaves* (National Institute of Standard & Technology) contendo 0,159% em peso de P. Através do processo de digestão de uma amostra de concentração conhecida. A recuperação média de 102%. Estando de acordo com a literatura que reporta uma recuperação na faixa de 70 a 110 % (Rossi 2005)

A especificidade do método é verificada por meio do método de adição padrão, para avaliar a recuperação de quantidades conhecidas de P na matriz da amostra a ser analisada na determinação do P-biodisponível, por meio da solução extratora de Morgan. Uma amostra fortificada (com padrão conhecido) é utilizada para avaliar possíveis interferências da solução extratora de Morgan com o método azul de molibdênio

A concentração adicionada foi confirmada pela determinação de P antes e após a realização da fortificação. O resultado expresso como concentração em ppm foi calculado como segue.

$$\text{Concentração (ppm)} = [C1 - (C2 - C3)] \quad (19)$$

C1 – concentração da amostra não fortificada

C2 – concentração da amostra fortificada

C3 – concentração do padrão (de fortificação)

O resultado obtido encontra-se dentro da faixa de erro (- 1,6 %) aceito para o material de referências de fósforo (Aminot & Kérouvel 1997).

- Cálcio

Por meio do método de saturação do íon cálcio e deslocamento deste para solução de trabalho através da troca com o íon sódio no material de referência *Standard Reference Material – 2711 Montana Soil* (National Institute of Standard & Technology) contendo $2,88 \pm 0,08$ % de cálcio obteve-se uma recuperação média de 91,84%, mostrando a eficiência do método utilizado.

4.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Todo o procedimento estatístico foi realizado sob o suporte do *soft Statistic*, versão 7.0.

4.6.1 Estatística descritiva

A média é uma medida descritiva utilizada para representar um determinado conjunto de dados. Quanto mais simétrica for a forma da distribuição desses dados, mais a média é considerada representativa dos mesmos. A equação que define a média é apresentada a seguir

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (20)$$

em que N é o número de dados.

O coeficiente de correlação linear de *Pearson*, matematicamente definido pela razão da covariância de suas variáveis pelos produtos de seus desvios padrões (Davis 1973), foi utilizado para estimar a existência de uma relação linear entre as variáveis estudadas a determinado nível de significância.

$$r_{ij} = \frac{COV_{ij}}{S_i \times S_j} \quad (21)$$

4.6.2 Análise de variância - ANOVA

Os dados foram submetidos à técnica da análise de variância para avaliar se as populações (sítios) apresentam diferenças significativas em relação à média para as variáveis do compartimento do sedimento (umidade, salinidade, MO, P-total). Neste caso, essas variáveis representam a resposta no modelo da análise de variância definido na equação (22):

$$y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \quad (22)$$

em que

y_{ij} – variável resposta (Umidade, Salinidade, MO e P-total).

μ – média geral

τ_j – tratamentos (grupos ou florestas)

ε_{ij} – erros (identicamente independentes com distribuição normal $(0, \sigma^2)$)

Neste caso, a ANOVA avalia as diferenças entre as populações (sítios) em que a estatística de teste é a estatística F . Nos casos em que foi confirmada a diferença entre as médias de pelo menos dois grupos entre si, é utilizado o teste de comparação de médias *Post Hoc* de *Fisher* para a identificação dos grupos que apresentam diferenças entre si, em relação às respectivas médias.

Após a realização da ANOVA nos dados, em que se confirma a presença de populações (sítios) com médias diferentes entre si, pode-se avaliar as características de cada grupo em relação às variáveis em estudo. Isto é realizado com a aplicação do método multivariado da Análise Discriminante.

4.6.3 Análise Discriminante

Essa técnica, frequentemente é utilizada com objetivo de discriminar populações diferentes e/ou classificar variáveis. É realizada para analisar a relação entre as feições da vegetação ao longo dos perfis topográficos: T1 (bosque de *Avicennia*, bosque Misto e bosque de *Rhizophora*); T2 (Campo arbustivo, bosque de *A. schaueriana* com estrato herbáceo, bosque de *A. schaueriana* e Bosque de *A. germinans*) e um conjunto de variáveis nos sedimentos (umidade,

matéria orgânica, salinidade e P-total). O principal objetivo, neste caso, é determinar as variáveis mais importantes que diferenciam ou discriminam os sítios amostrados, definindo as regras de classificação destas, e estabelecer funções que caracterizam cada população (neste caso, representadas por sítios).

A técnica da Análise discriminante consiste na computação de uma combinação linear de m variáveis quantitativas que mais eficientemente discriminam grupos de amostras em um espaço m -dimensional de modo que a razão da variância entre-grupos e intergrupos é maximizada (Johnson & Wichern 1992), (Valentin 2000) (Pestana & Gajeiro 2000).

Para as populações investigadas, a umidade, a MO, a salinidade e P-total são as variáveis independentes. O campo arbustivo e os bosques ao longo das transecções 1 e 2 são às variáveis dependentes (grupos ou populações).

A maioria dos conceitos apresentados a seguir é baseada em livros textos de estatística como Johnson & Wichern (1992), Valentin (2000); Pestana & Gajeiro (2000). A função linear discriminante, chamada função linear de *Fisher*, que maximiza a separação entre as duas populações é expressa por:

$$y = [\bar{X}_1 - \bar{X}_2]^T S_{pool}^{-1} X \quad (23)$$

onde

\bar{X}_1 – vetor de médias da população 1;

\bar{X}_2 – vetor de médias da população 2;

T – indica matriz transposta;

S_{pool} – matriz conjunta de covariância total;

X – matriz das variáveis.

Supondo que as populações têm a mesma matriz de covariância. Então as matrizes de covariância amostral S_1 e S_2 são combinadas como

$$S_{pool} = \frac{(n_1 - 1)S_1 + (n_2 - 1)S_2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (24)$$

n – número de observações;

S_1 e S_2 – matriz de covariância amostral para cada população

S_{pool} : – matriz de covariância total

Determinação da distância de *Mahalanobis* (D^2), que é a medida da diferença entre as médias de dois grupos multivariados Davis (1986).

$$D_i^2(X) = (X - \bar{X}_i)' S_x^{-1} (X - \bar{X}_i) \quad (25)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m.$$

Quanto maior o valor de D^2 , maior será a eficiência da discriminação. A significância da distância de *Mahalanobis* pode ser testada usando o teste t da igualdade de duas médias, chamado *Hotelling's*, teste T^2 . Porém, de forma simplificada, a significância da diferença entre os centróides dos grupos foi testada pela razão da variância (estatística F) Davis (1986), que, no caso de duas populações é expressa por:

$$F = \left[\frac{n_1 + n_2 - m - 1}{(n_1 + n_2 - 2) \times m} \right] \times \left[\frac{(n_1 \times n_2)}{(n_1 + n_2)} \right] \times D^2 \quad (26)$$

Com m graus de liberdade no denominador e $(n_1 + n_2 - m - 1)$ graus de liberdade no numerador.

A hipótese testada por essa estatística:

$$H_0: [Di] = 0$$

$$H_1: [Di] > 0$$

A estatística F é utilizada para descrever os grupos mais parecidos e testar a igualdade das médias (centróides) das populações. Pode ser entendida como uma medida de distância entre cada par de grupos (Pestana & Gajreiro 2000). Deste modo, se a hipótese $H_0: [Di] = 0$ ou $H_0: \mu_1 = \mu_2$ for rejeitada, pode-se concluir que a separação entre as duas populações é significativa.

A estatística de *Wilks Lambda* é uma estatística geral para lidar com o teste de centróides (centro dos elipsóides), que oferece informação sobre as diferenças entre os grupos, para cada variável individualmente. Obtém-se, pela razão da variação dentro dos grupos sobre a variação total. Seus valores variam de 0 a 1. Quanto mais próximo de zero, mais os grupos estão discriminados (Johnson & Wichern 1992).

Para o teste da hipótese nula, foi utilizado o teste de *Wilks Lambda* e a estatística F .

a. Determinações das Funções discriminantes

Uma regra de classificação consiste em alocar um elemento x_0 na população para a qual a função discriminante é maior, que equivale à menor distância generalizada para o referido elemento x_0 .

$$d_i(x) = \bar{x}_i' \times S_{\text{pool}}^{-1} x - \frac{1}{2} \bar{x}_i' S_{\text{pool}}^{-1} \bar{x}_i + \ln p_i \quad (27)$$

$$S_{\text{pool}} = \frac{(n_1 - 1) \times S_1 + (n_2 - 1) \times S_2 + \dots + (n_g - 1) \times S_g}{n_1 + n_2 + \dots + n_g - g} \quad (28)$$

b. Determinação da contribuição relativa

A contribuição relativa (%) de cada variável para o distanciamento entre os grupos é determinada segundo Valentin (2000).

$$C_i = \frac{\lambda_i [\bar{x}_j - \bar{x}_k]}{D^2} \times 100 \quad (29)$$

Para variável i e grupos j e k ; onde λ_i é obtido pela diferença entre os coeficientes das funções discriminantes.

5 RESULTADOS

5.1 SEDIMENTOS

5.1.1 Granulometria

Em T1 e T2 são predominantemente argilosos (>80%), com quantidades menores de silte (12%) e areia (< 4%). No Platô herbáceo, os sedimentos são silticos argilosos, com a presença da fração argila (40%), silte (10%) e elevada quantidade de areia (50%) (Figura 6). A distribuição das partículas nas camadas dos perfis verticais não mostra um padrão definido da variação granulométrica. Porém, para valores médios, observa-se predominância da fração areia nas estações localizadas na topografia mais baixa dos sítios amostrados. Enquanto as frações silte e argila diminuem (Figura 7).

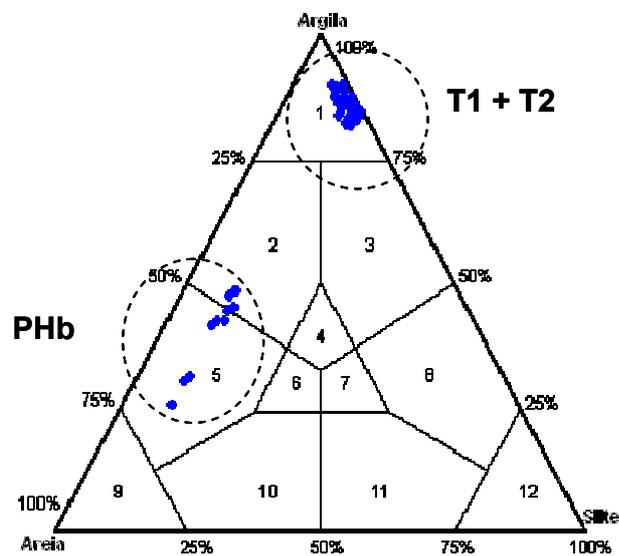


Figura 6 - Distribuição granulométrica nos diagramas de Shepard (1954).

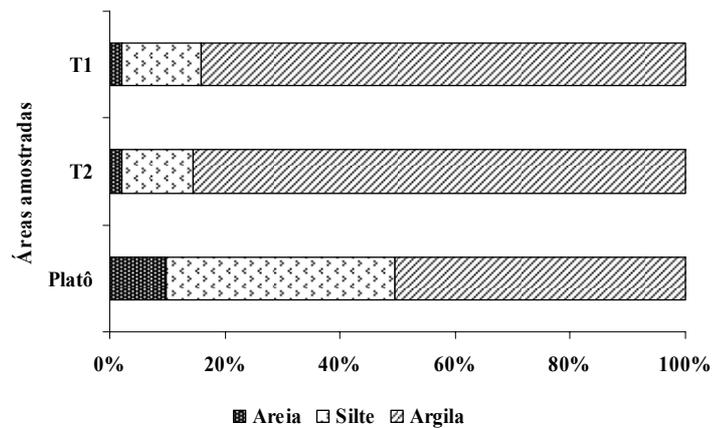


Figura 7 - Variação granulométrica dos sítios amostrados na planície de Bragança.

5.1.2 Caracterização mineralógica

Os sedimentos do mangue de Bragança são constituídos por quartzo, caulinita, esmectita e illita. Ocorre ainda hematita, K-feldspato, pirita, jarosita e halita (Figuras 8).

Observações no microscópio eletrônico de varredura (MEV) mostram a presença de minerais pesados de terras raras e Tório, Monazita (Ce, La, Nd, Th)PO₄; óxidos de ferro e titânio, Ilmenita (FeTiO₃) e minerais acessórios de granito, xenotímio (YPO₄) (Figura 9). Assim, como minerais autigênicos de pirita (FeS₂) e vivianita (Fe₃(PO₄)₂.8H₂O) (Figura 10). Também foi registrada a presença do argilomineral esmectita (Figura 11 a 12).

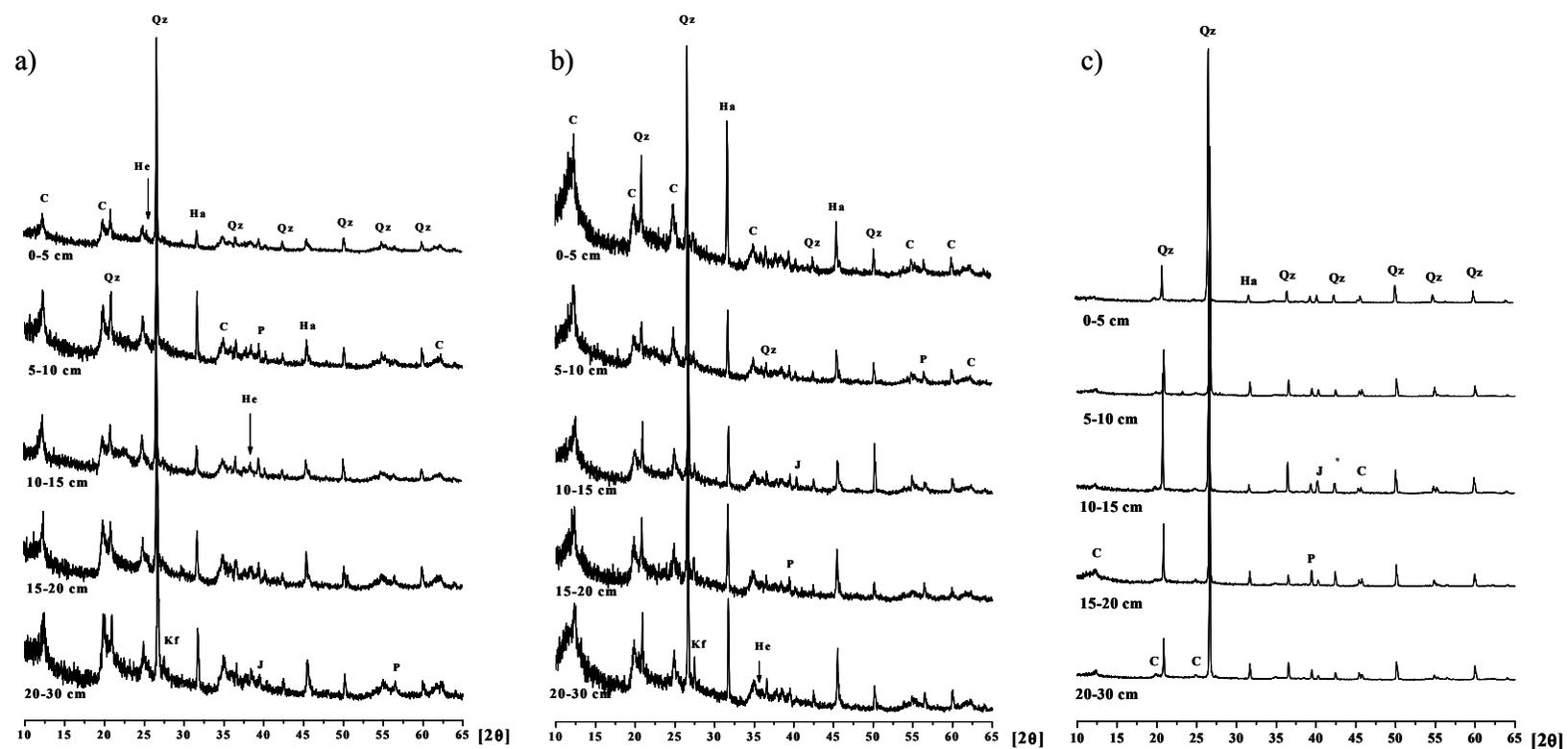


Figura 7 - Difratoograma de raios-x em amostras totais nos sedimento do manguezal de Bragança: T1 (a), T2 (b) e Platô herbáceo (c), mostrando seus principais minerais: C-caulinita, Qz-quartzo, He-hematita, Kf-K-feldspato, P-pyrita, J-jarosita, e Ha-halita; PHb: C-caulinita, Qz-quartzo, P-pyrita, J-jarosita, e Ha-halita.

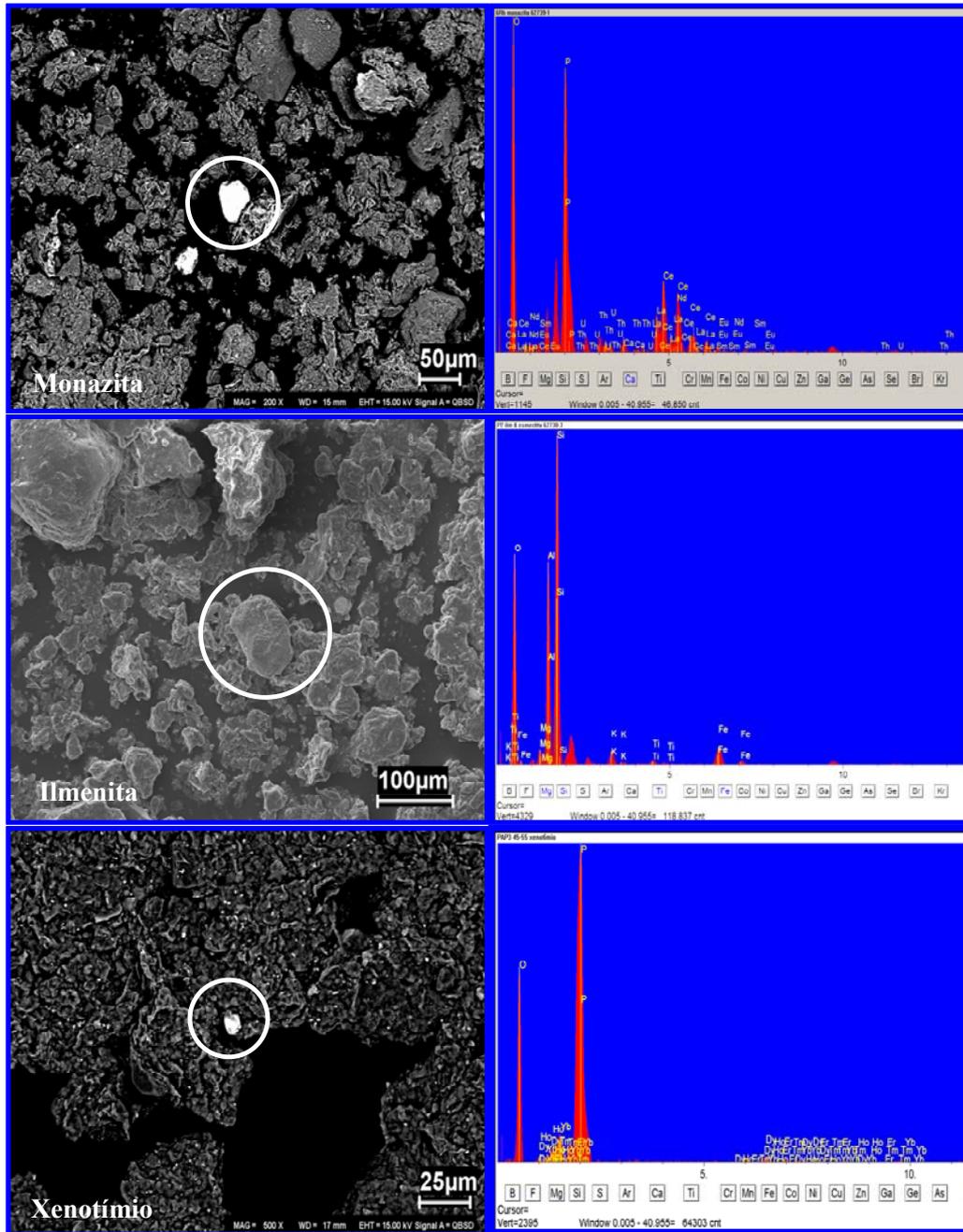


Figura 8 - Fotomicrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) de minerais encontrados nos sedimentos de manguezal de Bragança.

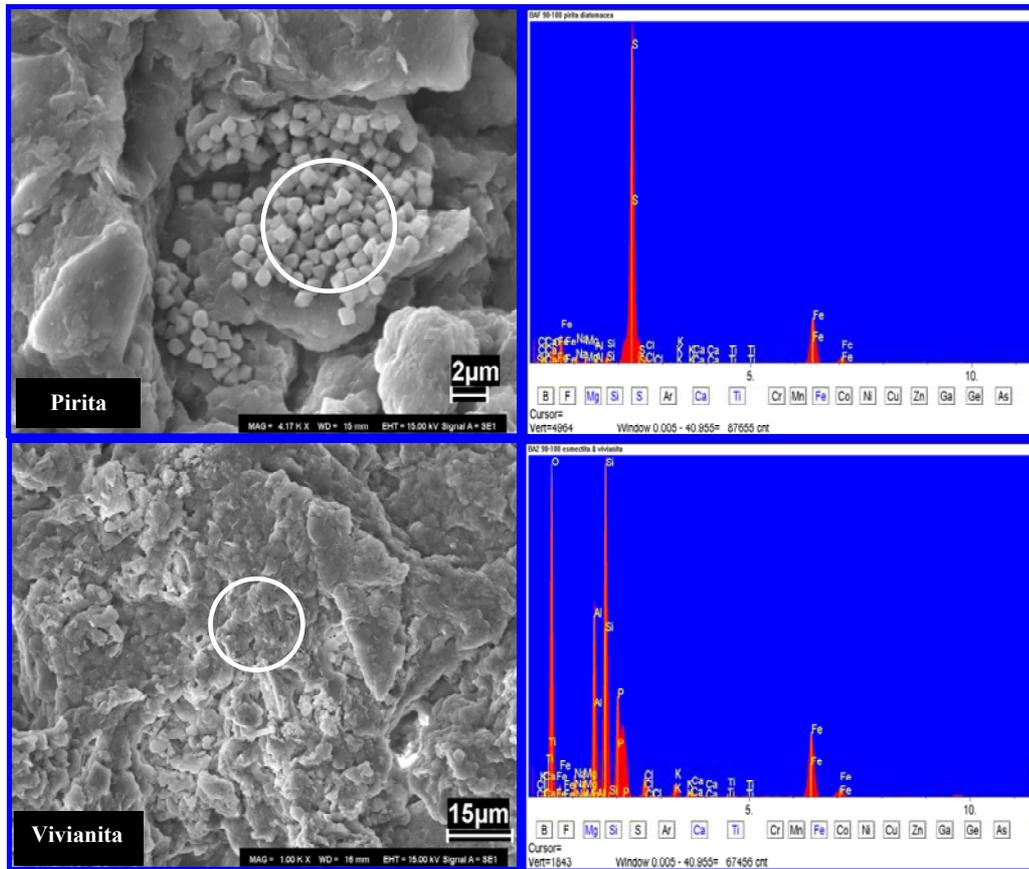


Figura 9 - Fotomicrografias obtidas por MEV de minerais autígenicos de pirita e vivianita (recoberta por esmectita) encontrados nos sedimentos de manguezal de Bragança.

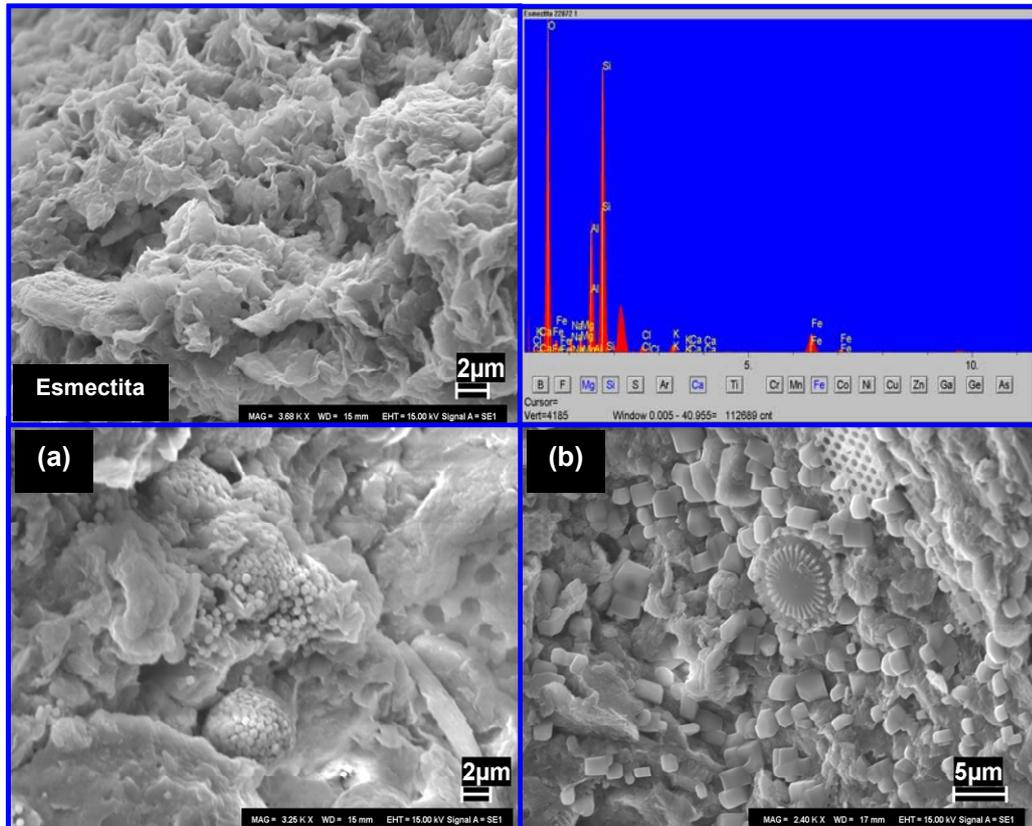


Figura 10 - Fotomicrografias obtidas por MEV de argilomineral de esmectita e frambóides de pirita (a), e com minerais de halita e diatomácea (b) encontrados nos sedimentos de manguezal de Bragança.

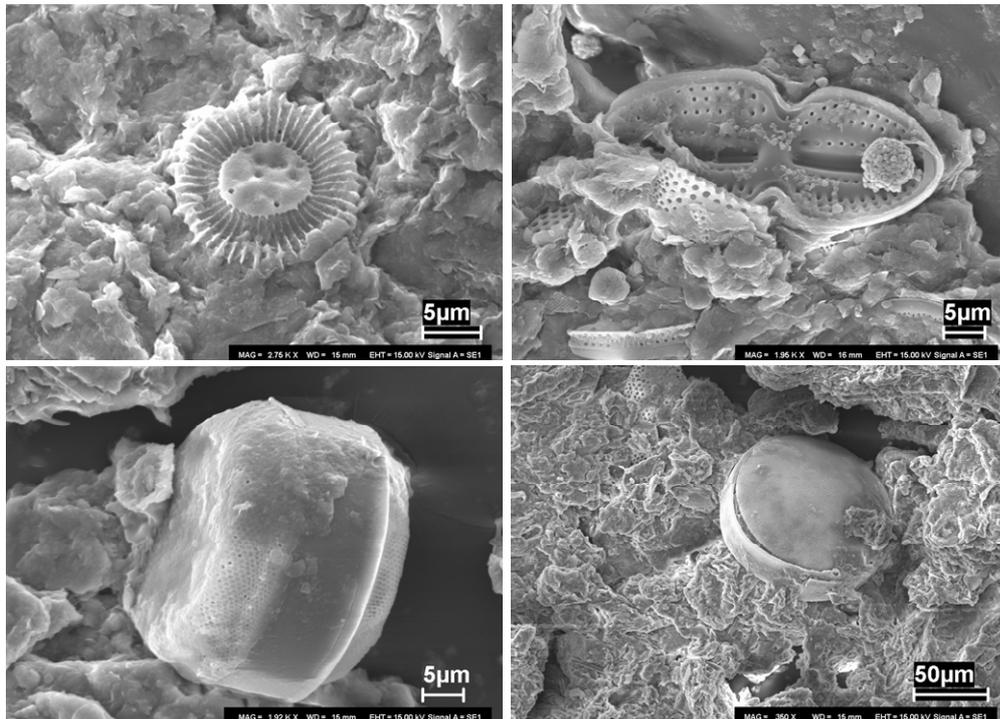


Figura 11 - Fotomicrografias obtidas por MEV de argilomineral de esmectita e diatomácea preservadas encontrados nos sedimentos do manguezal de Bragança. A- *Cyclotella* sp. – Diatomácea cêntrica, planctônica; B – *Diploneis gruendleri* (A. Schmidt) Cleve – Diatomácea penada, bentônica, ecologia marinha/estuarina, comum em sedimentos de manguezais; C – Diatomácea cêntrica, provavelmente um *Actinocyclus* sp. D – *Coscinodiscus jonesianus* (Greville) Ostenfeld – Diatomácea cêntrica, planctônica, espécie marinha. (Fonte: Ribeiro 2007).

5.1.2.1 Identificação dos argilominerais

A caulinita foi identificada pelos valores de $7 \text{ \AA } d(001)$ e $3,5 \text{ \AA } d(002)$ que não se alteram com a solvatação com etileno glicol (EGL) e desaparecem com o aquecimento a $550 \text{ }^\circ\text{C}$. A illita foi identificada pelas reflexões $10 \text{ \AA } d(001)$ e $5 \text{ \AA } d(002)$ que não mudam pelo tratamento com EGL e nem pelo aquecimento a $550 \text{ }^\circ\text{C}$. A esmectita foi identificada pela reflexão $14 \text{ \AA } d(001)$ que se expande e desloca a $17 \text{ \AA } d(001)$ pela solvatação com EGL e soma-se à reflexão da illita $10 \text{ \AA } d(002)$ com o aquecimento a $550 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 12).

A presença do mineral do grupo da esmectita foi evidenciada pela saturação da amostra com magnésio (MgCl_2), que apresentou valores de $d(001)$ nas amostras secas à temperatura ambiente, e, após tratamento com EGL, resulta no aparecimento de um pico de 18 \AA . Quando saturados com potássio (KCl), os valores de $d(001)$ ficam próximo a 12 \AA nas amostras seca ao ar. Quando aquecidos a $350 \text{ }^\circ\text{C}$ e $550 \text{ }^\circ\text{C}$ colapsam a 10 \AA (Figura 13).

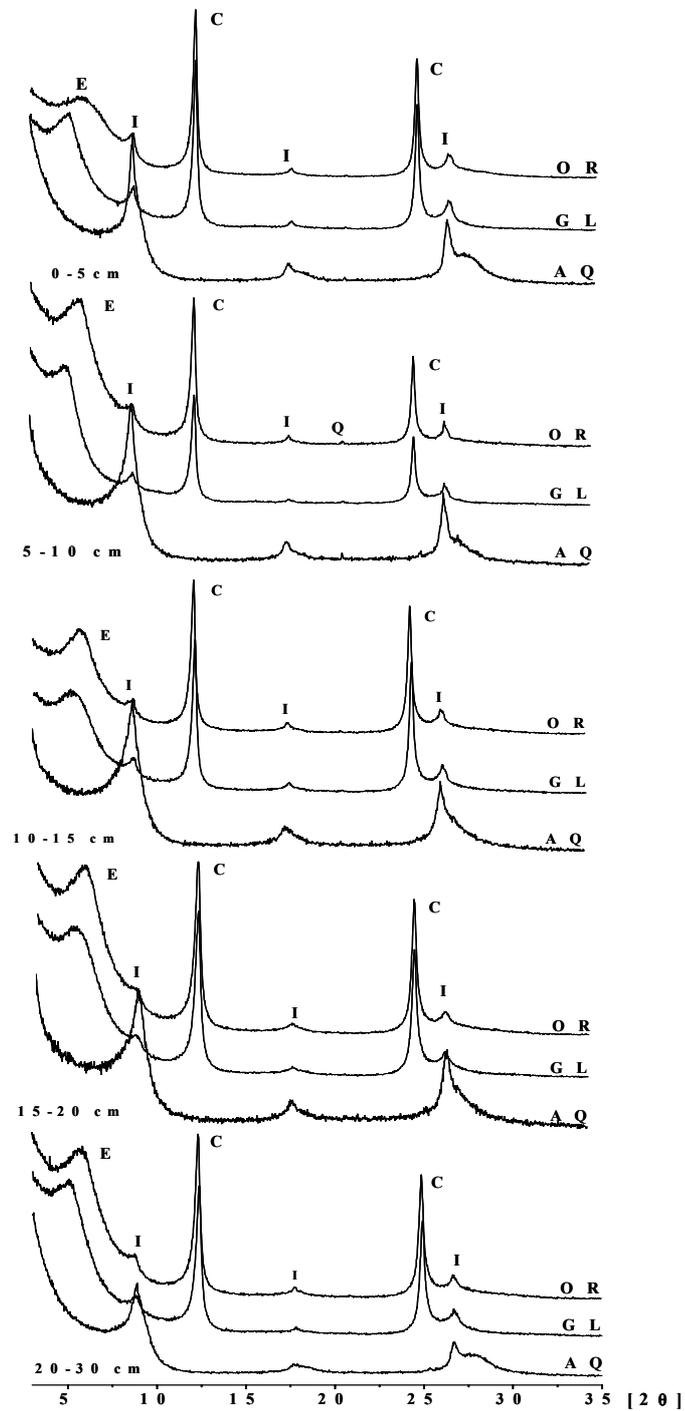


Figura 12 - Difração de raios-X dos argilominerais presentes nos sedimentos do manguezal de Bragança (0-30 cm). Esmeclita (E), Caulinita (C) e Ilita (I) em (T1), (T2) e (PHb). Lâminas orientadas (OR), solvatadas com etileno glicol (ELG) e aquecidas a 550° C (AQ).

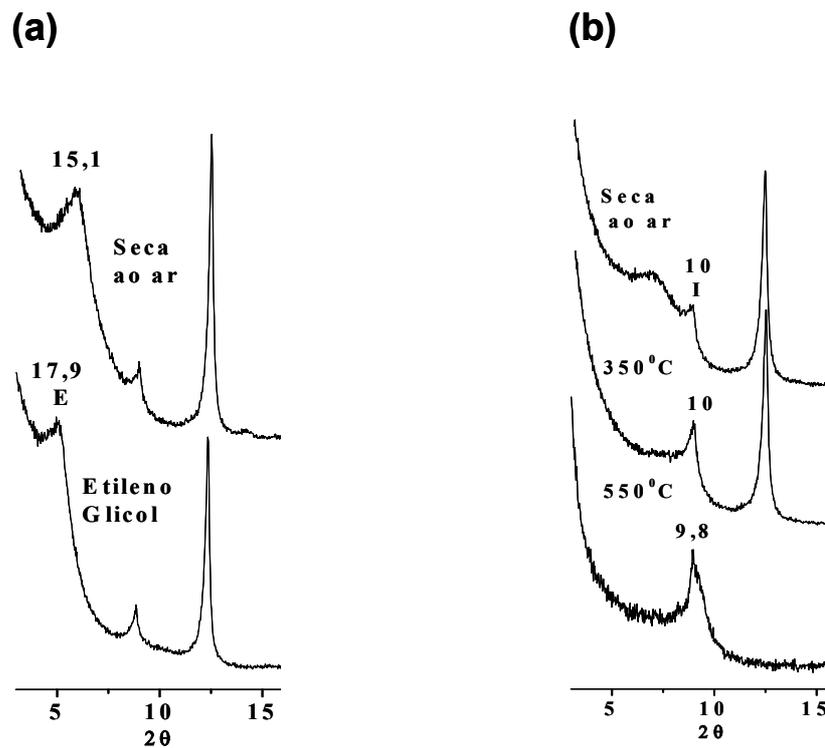


Figura 13 – Difração de raios-X da fração argila dos sedimentos de mangue de Bragança após saturação com $MgCl_2$ (a) e com KCl (b).

5.1.2.2 Análise semiquantitativa dos argilominerais

Em T1 a caulinita é o principal argilomineral (49%), seguido da esmectita (47%) e uma pequena variação da illita (5%) ao longo de toda a transecção.

Tabela 1 - Análise semi-quantitativa dos argilominerais dos sedimentos de mangue de Bragança nos sítios amostrados ao longo da planície.

Sítios	Argilominerais (%)		
	Caulinita	Esmectita	Illita
T1	49	47	5
T2			
Campo arbustivo	55	39	8
Floresta	52	41	7
PHb	46	50	5

5.1.2.3 Elementos maiores

Os sedimentos de Bragança são compostos principalmente por SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , perfazendo um total de aproximadamente 71% em T1 e T2; e de 85% em PHb.

Os óxidos, SiO_2 e Al_2O_3 , são os mais abundantes e somam juntos 65% em T1 e T2 e 82% em PHb. Os teores de SiO_2 apresentam os mais altos valores, 47% em T1 e T2 e de 75% no PHb.

Os teores de Al_2O_3 variam de 18% em T1 e T2 e valores menores são encontrados no PHb de 7%. Em menores quantidades, os teores de Fe_2O_3 apresentam variação de 6 a 7% em T1 e T2, respectivamente, e 3% no PHb.

Em relação aos teores de Na_2O , K_2O e TiO_2 , T1 apresenta valores médios de 2,44; 1,64 e 0,93% respectivamente. Um ligeiro acréscimo destes é observado em T2 com valores médios de 2,64; 1,93; e 1%. Por outro lado, em PHb, observa-se um empobrecimento destes óxidos, com valores médio de Na_2O (1,84%), K_2O (0,87%) e TiO_2 (0,75%). Os teores médio de MgO são similares em T1 e T2 de 1,7% . Baixa concentração foi encontrada em PHb de 0,78%.

Valores médios de P_2O_5 são significativos, sua variação mostra valores em T1(0,18%); em T2 (0,16%) e em PHb (0,075%). A alta perda ao fogo (21%) em T1 e também em T2 reflete a abundância de MO, enquanto no Platô esse valor diminui para aproximadamente 50%. A Tabela 2 mostra a variação dos elementos maiores nos sedimentos estudados.

5.1.2.4 Elementos-traço

Valores médio dos elementos traços em T1 e T2 é de aproximadamente de 1% e pouco mais elevados em PHb, 1,5%. As médias dos elementos de Sr (0,01%), V (0,01%), Cr (0,01%), Ba (0,02%), e Zr (0,02%), perfazendo um total de 0,07%, têm comportamento similar em T1 e T2. Enquanto os teores médios do Ba (0,01%) e Zr (0,09%) somam 1% em PHb. Ainda no platô, as médias das concentrações de Hf, Th, U, as do Zr e as do Cs foram duas, quatro e nove vezes maiores, respectivamente, quando comparadas com as concentrações médias desses elementos em T1 e T2. (Tabela 3).

5.1.2.5 Elementos Terras Raras

Ao longo das áreas estudadas, os terras raras variam de 0,02 em T1 e T2 a 0,1% em PHb. As maiores contribuições percentuais em T1 e T2 são de La (0,005), Ce (0,01) e Nd (0,004) e em PHb de La (0,003), Ce (0,005) e Nd (0,002) (Tabela 4).

5.1.3 Normalização dos sedimentos de Bragança

5.1.3.1 Elementos maiores

Os valores médios dos elementos químicos analisados nos sedimentos estudado (Tabelas 6 a 8) são normalizados com a composição química da Crosta Continental Superior (Taylor & McLennan 1985) e com os padrões de argilas norte-americanas, NASC (Gromet et al. 1984), argilas pós-arqueanas, PAAS (Taylor & McLennan 1985), e com a Formação Barreiras (Berrêdo 2006). Os mesmos padrões utilizados por este autor na normalização dos sedimentos de mangue de Marapanim, também localizado no nordeste do estado do Pará.

Tabela 2 - Valores médios das concentrações dos elementos maiores nos sedimentos do manguezal de Bragança (T1, T2 e PHb), n = 11

Sitio	Elementos (%)										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	P.F.
T1											
Bosque de <i>Avicennia</i>	46,75	17,90	5,59	0,03	1,74	0,24	2,58	1,5	0,90	0,17	21,30
Bosque Misto	45,54	18,21	6,34	0,04	1,86	0,27	2,63	1,76	0,99	0,2	21,61
Bosque <i>Rhizophora</i>	49,44	16,47	6,25	0,04	1,47	0,19	1,92	1,53	0,88	0,18	20,73
T2											
Campo arbustivo	46,50	18,05	6,44	0,02	1,69	0,15	2,63	1,93	0,99	0,16	21,03
<i>A. schaueriana. com herbácea</i>	46,97	18,23	6,04	0,02	1,65	0,14	2,5	1,85	0,96	0,15	21,27
<i>A. schaueriana</i>	46,02	17,87	6,84	0,02	1,72	0,15	2,76	2,01	1,01	0,17	20,78
<i>A. germinans</i>	46,50	18,05	6,44	0,02	1,69	0,15	2,63	1,93	1,00	0,16	21,03
PHb	76,27	6,76	3,14	0,02	0,73	0,06	1,72	0,76	0,73	0,07	8,55

Tabela 3 - Valores médios das concentrações dos elementos-traço nos sedimentos do manguezal de Bragança (T1, T2 e PHb), n = 11.

Sitios	Elementos (ppm)																			
	Sr	Ba	V	Zr	Co	Cr	Zn	Sc	Y	Pb	Ga	As	Nb	Hf	Th	U	Sn	Rb	Cs	
T1																				
Bosque de <i>Avicennia</i>	106	228	95	158	11	110	60	14	26	29	20	27,00	15	4,90	16,10	3,00	2,00	80	4,80	
Bosque Misto	110	250	103	225	10	100	85	15	28	20	21	18,00	17	6,00	15,00	4,00	3,50	84	5,00	
Bosque <i>Rhizophora</i>	96	235	89	234	11	100	120	13	26	72	22	19,00	14	6,60	15,10	3,20	3,00	82	5,20	
T2																				
Campo arbustivo	103	255,5	106	220,5	8	100	65	16	27	94	22	11,50	18	6,20	16,15	3,65	1,60	94	5,10	
<i>A. schaueriana com herbácea</i>	104	264	108	238	8	100	70	16	27	95	22	10,00	18	6,10	16,20	3,70	2,00	95	5,20	
<i>A. schaueriana</i>	102	247	104	203	8	100	60	15	26	92	21	13,00	18	6,30	16,10	3,60	1,20	92	5,00	
<i>A. germinans</i>	95	252	103	224	9	100	50	14	27	89	20	23,00	18	6,70	15,90	3,70	1,70	89	4,60	
PHb	45	144	51	941	4	50	35	7	18	10	9	12,50	13	25,55	10,55	3,05	4,00	40	2,00	

Tabela 4 - Valores médios das concentrações dos elementos Terras-Raras nos sedimentos do manguezal de Bragança (T1, T2 e PHb), n = 11.

Sitios	Elementos (ppm)														
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
T1															
Bosque de <i>Avicennia</i>	53,20	105	12,70	40,60	7,70	1,73	6,30	1,00	5,30	1,10	3,00	0,43	2,60	0,37	
Bosque Misto	49,35	99,75	11,85	39,70	7,50	1,67	6,30	1,00	5,70	1,10	3,00	0,44	2,70	0,40	
Bosque <i>Rhizophora</i>	49,90	99,00	11,70	38,50	7,20	1,61	5,90	0,90	5,10	1,00	3,00	0,44	2,80	0,39	
T2															
Campo arbustivo	51,30	101	12,10	40,45	7,40	1,66	6,05	0,95	5,40	1,05	2,95	0,43	2,70	0,39	
<i>A. schaueriana com herbácea</i>	50,20	97,90	11,70	39,40	7,30	1,62	5,90	0,90	5,30	1,00	2,90	0,42	2,70	0,39	
<i>A. schaueriana</i>	54,40	109	13,00	43,80	8,10	1,83	6,60	1,00	5,90	1,10	3,10	0,45	2,80	0,40	
<i>A. germinans</i>	51,70	104	12,50	41,80	7,80	1,73	6,50	1,00	5,80	1,10	3,20	0,46	2,90	0,41	
PHb	26,65	51,45	6,07	20,00	3,80	0,74	3,10	0,50	3,40	0,75	2,35	0,39	2,65	0,43	

Como as transecções (T1 e T2) apresentam pouca variação na composição química de seus sedimentos, os mesmos são normalizados fazendo parte de um único grupo (Figura 15). Enquanto os sedimentos do Platô herbáceo são normalizados separadamente (Figura 16).

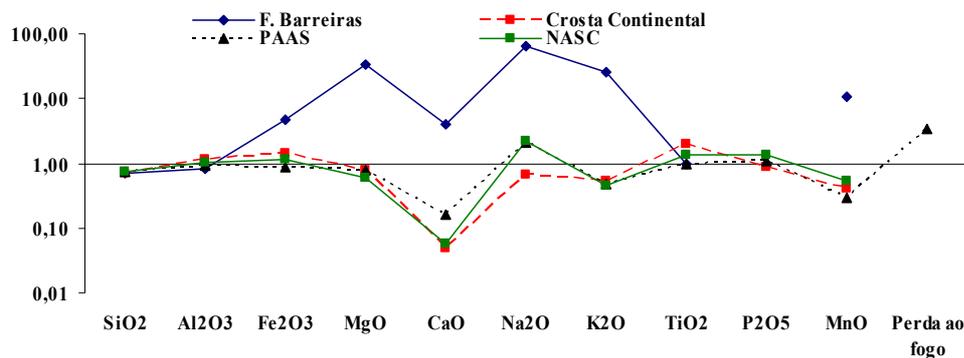


Figura 14 - Normalização das concentrações dos elementos maiores em forma de óxidos (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅ e MnO) nas transecções (T1 e T2) em relação à CTS Taylor & McLennan (1985); Padrões PASS Taylor & McLennan (1985); NASC Gromet et al. (1984) e Formação Barreiras Berrêdo (2006).

As concentrações dos elementos químicos maiores presentes nos sedimentos de T1 e T2 quando são normalizados aos sedimentos da Formação Barreiras apresentam-se enriquecidos em Fe₂O₃, além de, MgO, CaO e Na₂O, K₂O e TiO₂. Com relação à Crosta Continental o enriquecimento se dá para os elementos Al₂O₃, Fe₂O₃ e TiO. No entanto, para os padrões PAAS e NASC apresentam comportamento similar no enriquecimento para o Na₂O. Conferindo somente com o padrão NASC é observado um ligeiro enriquecimento para o de P₂O₅ (Figura 15).

Também, quando T1 e T2 são comparados com o manguezal de Marapanim, estes mostram similar teor em Fe₂O₃, e concentrações mais elevadas de MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂ e P₂O₅ e quase duas vezes o valor da perda ao fogo. Com o manguezal de clima tropical árido da Austrália, mostra maiores concentrações Al₂O₃, associados aos minerais de argila. Aos manguezais da Guiana Francesa, apresenta teores similares de Fe₂O₃, (Tabela 5).

Tabela 5 - Concentração média de SiO₂, Al₂O₃, MgO, CaO, Fe₂O₃, TiO₂, Na₂O, K₂O, P₂O₅, MnO, S e perda ao fogo – PF (% de peso) dos sedimentos do manguezal de Bragança (T1 e T2) e PHb, e manguezais do nordeste do Pará e de clima tropical e equatorial.

Composição química (%)	Bragança ¹	PHb ¹	Bragança ²	Marapanim ³	Austrália ⁴	Guiana Francesa ⁵	Formação Barreiras ⁶	Crosta Continental Superior ⁷
SiO ₂	46,88	74,71	55,16	54,47	54,4	55,2	66,33	66
Al ₂ O ₃	17,79	7,19	15,18	18,32	10,8	18,5	21,68	15,2
MgO	1,72	0,78	1,4	0,9	2,8	1,7	0,05	2,2
CaO	0,21	0,07	0,39	0,41	10,3	0,46	0,05	4,2
Fe ₂ O ₃	6,35	3,43	5,2	6,51	3,1	6,08	1,34	4,49
TiO ₂	0,97	0,76	0,59	0,69	0,8	0,85	1	0,5
Na ₂ O	2,54	1,84	2,6	1,46	1,4	1,6	0,04	3,9
K ₂ O	1,79	0,87	1,38	1,47	1,4	2,36	0,07	3,4
P ₂ O ₅	0,18	0,07	< 0,06	< 0,07	*	*	*	0,2
MnO	0,03	0,0205	*	0,03	0,02	0,03	0,003	0,08
S		*	4,95	1,57	0,17	0,58	*	*
PF	21,02	9,06	13,28	14,88	*	11,7	*	*

1. Manguezal do nordeste do Pará (clima tropical úmido), este estudo

2. Manguezal do nordeste do Pará (clima tropical úmido), (Costa et al.. 2004)

3. Manguezal do nordeste do Pará (clima tropical úmido), Berrêdo (2005)

4. Manguezal de clima tropical árido, Kalck (1978); Cook & Mayo (1980), citados por Berrêdo (2005).

5. Manguezal de clima equatorial, Djuwansah (1990), citado por Berrêdo (2005).

6. Formação Barreiras, Barredo (2005).

7. Crosta Continental Superior, Taylor & McLennan (1975)

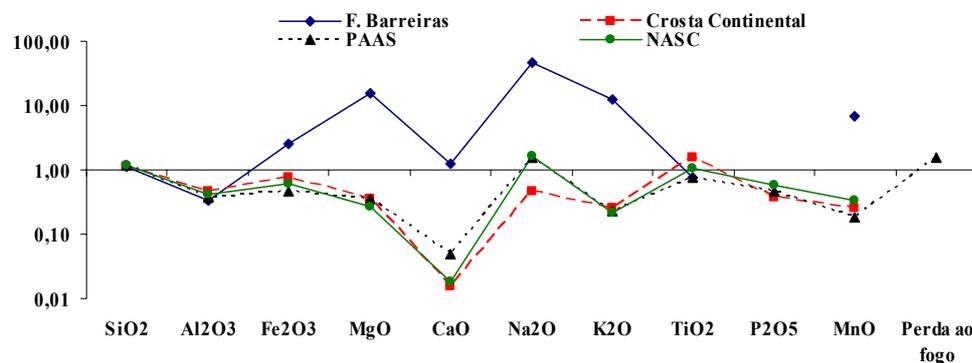


Figura 15 - Normalização das concentrações dos elementos maiores em forma de óxidos (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅ e MnO) em PHb em relação à CTS (Taylor & McLennan 1985); Padrões PASS (Taylor & McLennan 1985); NASC (Gromet et al.. 1984) e Formação Barreiras (Berrêdo 2006).

Nos sedimentos do platô (PHb), o aumento nos teores médios de SiO_2 (74,71 %) e a diminuição nas concentrações de Al_2O_3 (7,19 %) e Fe_2O_3 (3,43 %) correspondem ao quartzo na fração areno-argilosa, e ainda à redução nos percentuais de argilominerais; sendo que, a Perda ao Fogo diminui cerca de 50 % com diminuição drástica nos teores dos demais constituintes químicos

5.1.3.2 Elementos-traço

Os teores de elementos traços em T1 e T2 encontram-se claramente enriquecidos de Zr e Hf em relação à Formação Barreiras, Crosta Continental e padrões PAAS e NASC. Enquanto o enriquecimento do Zn, As e Sn, nesses sedimentos é observado quando comparados ao padrão NASC, a crosta continental e a Formação Barreiras respectivamente (Figura 16).

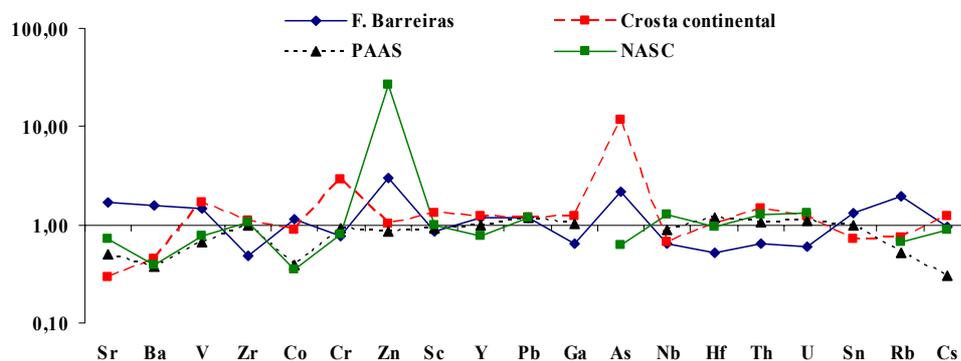


Figura 16 - Normalização das concentrações dos elementos-traço (Sr, Ba, V, Zr, Co, Cr, Zn, Sc, Y, Pb, Ga, As, Nb, Hf, Th, U, Sn, Rb e Cs) dos sedimentos de T1 e T2 à CTS (Taylor & McLennan 1985); Padrões PASS (Taylor & McLennan 1985); NASC (Gromet et al., 1984) e Formação Barreiras (Berrêdo 2006).

No platô herbáceo, o enriquecimento dos elementos traço é mais bem observado em relação à Formação Barreiras (Sr, Ba, V, Co, Zn, As, Sn e Cs), e a Crosta Continental (V, Cr, Sc, Y, As, Th e Cs). Os elementos traço nesse platô, são empobrecidos quando comparados ao padrão PAAS, e somente os elementos Zn, Nb e U estão enriquecidos em relação ao padrão NASC (Figura 17).

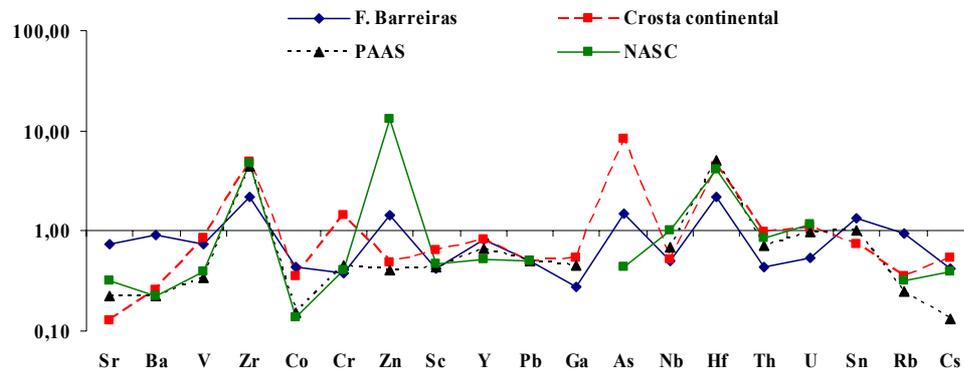


Figura 17 - Normalização das concentrações dos elementos-traço (Sr, Ba, V, Zr, Co, Cr, Zn, Sc, Y, Pb, Ga, As, Nb, Hf, Th, U, Sn, Rb e Cs) dos sedimentos em PHb à CTS (Taylor & McLennan 1985); Padrões PASS (Taylor & McLennan 1985); NASC (Gromet et al. 1984) e Formação Barreiras (Berrêdo 2006).

5.1.3.3 Elementos Terras Raras

Ao longo das áreas estudadas, os terras raras variam de 0,02 em T1 e T2 a 0,1% em PHb. As maiores contribuições percentuais em T1 e T2 são de La (0,005), Ce (0,01) e Nd (0,004) e em PHb de La (0,003), Ce (0,005) e Nd (0,002).

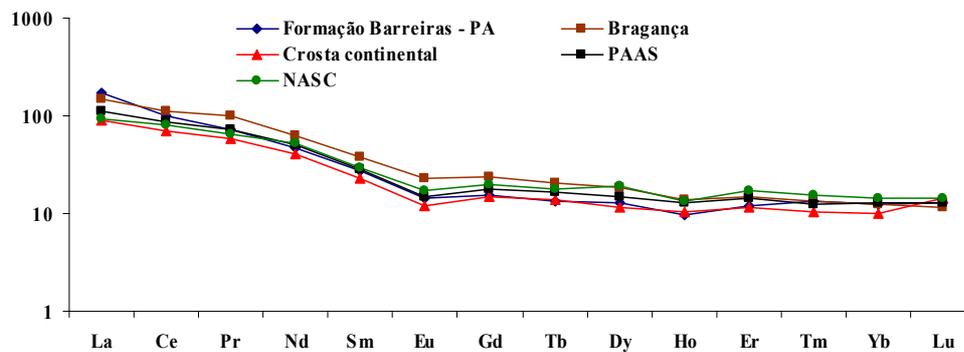


Figura 18 - Normalização das concentrações dos elementos Terras Raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, e Lu) dos sedimentos T1 e T2 à CTS (Taylor & McLennan 1985); Padrões PASS (Taylor & McLennan 1985); NASC (Gromet et al. 1984) e Formação Barreiras (Berrêdo 2006).

Nas transecções T1 e T2 os elementos Terras Raras mostram-se nitidamente enriquecidos em todos os elementos com relação à Crosta Continental. Já os elementos: La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd e Tb presentes nesses sedimentos, estão enriquecidos, quando normalizados com a Formação Barreiras, Crosta Continental e aos padrões NASC e PAAS (Figura 18).

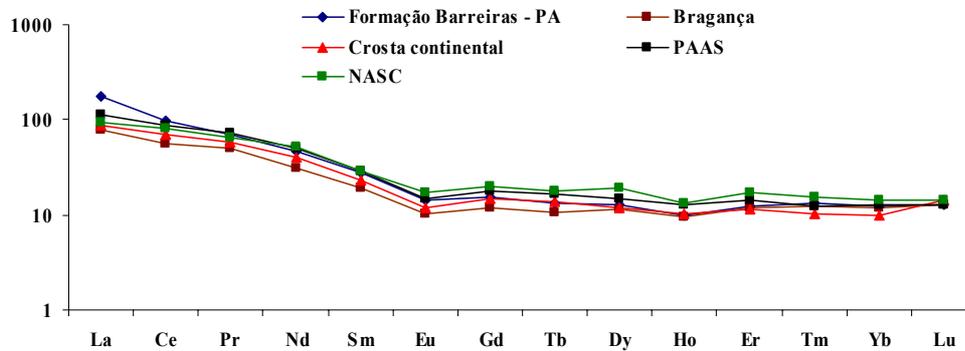


Figura 19 - Normalização das concentrações dos elementos Terras Raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, e Lu) dos sedimentos no PHb à CTS (Taylor & McLennan 1985); Padrões PASS Taylor & McLennan (1985); NASC (Gromet et al., 1984) e Formação Barreiras (Berrêdo 2006).

Em PHb, contrariamente aos sedimentos das transecções T1 e T2, esses sedimentos estão empobrecidos em La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd e Tb. Um ligeiro enriquecimento em relação a crosta é observado para o Tm e Yb (Figura 19).

5.2 VEGETAÇÃO

Em T1 foram inventariados 205 indivíduos pertencentes às famílias Avicenniaceae (*Avicennia germinans* (L.) Stream); Rhizophoraceae (*Rhizophora mangle* L.) e Combretaceae (*Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f.) distribuídas pelo menos em um dos três bosques amostrados. *A. germinans* foi a espécie mais abundante com 137 indivíduos mensurados (67 %), apresentando altura média de $10,56 \pm 2,5$ e o diâmetro a altura do peito (DAP) de $16,22 \pm 8,67$. Para a espécie de *R. mangle* foram amostrados 65 indivíduos (32 %), os quais apresentaram valores médio para a altura de $11,80 \pm 2,7$ e DAP de $17,22 \pm 5,22$. Enquanto a espécie de *L. racemosa* foi pouca representativa com apenas 3 indivíduos medidos (1 %), apresentou altura média de $12,60 \pm 1,97$ e DAP médio de $18 \pm 6,5$.

Em T2 foram registrados 85 indivíduos pertencentes à família Avicenniaceae (*Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm ex Moldenke e *Avicennia germinans* (L. Stream)). O estrato herbáceo é composto pelas famílias Aizoaceae (*Sesuvium portulacastrum* (L.) L); Poaceae (*Sporobolus virginicus* (L.) Kunth) e Batidaceae (*Batis marítima* L.). As espécies arbóreas e herbáceas colonizam pelo menos um dos quatro sítios amostrados.

Em PHb foi realizado o levantamento da cobertura do estrato herbáceo representado pelas famílias Aizoaceae (*Sesuvium portulacastrum* (L.) L); Poaceae (*Sporobolus virginicus* (L.) Kunth) e Batidaceae (*Batis marítima* L.).

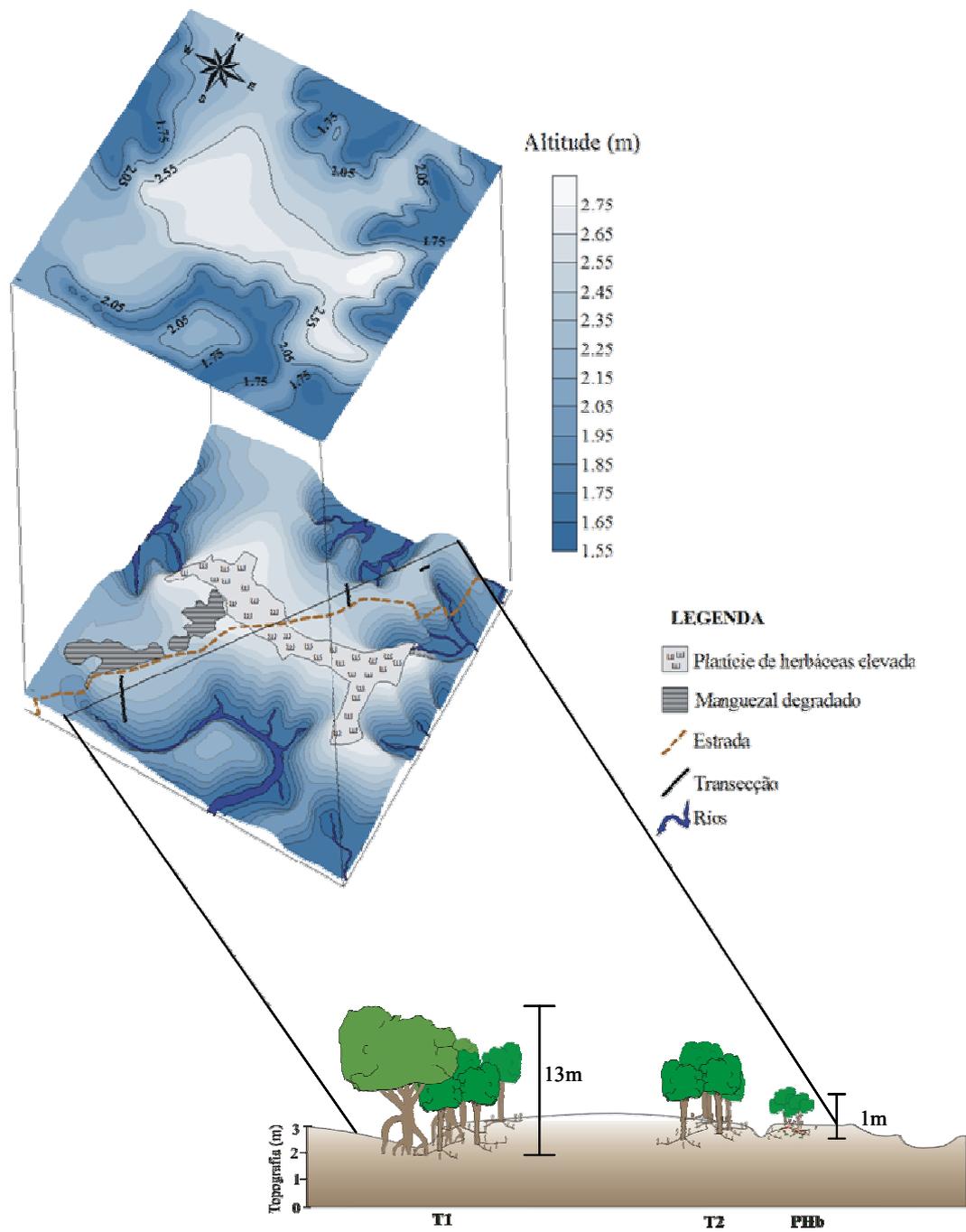


Figura 20 – Vegetação no perfil topográfico dos sítios amostrados

5.3 AVALIAÇÃO NO PERFIL DE INUNDAÇÃO

A partir da metodologia empregada, em função da topografia do terreno, zonas com diferenças nas frequências em que estão sendo inundadas durante o ano, refletem de forma diferenciada as condições químicas e físico-químicas do substrato. Podendo inferir no estabelecimento das espécies arbóreas de *A. germinans*, *A.schaueriana* e *R .mangle*, e da vegetação herbácea (*S. portulacastrum*, *S. virginicus* e *B. marítima*) ao longo da planície. A frequência de inundação mostrada em dias/ano é um dos principais parâmetros que varia ao longo da zona intermaré, frequentemente é citada como uma das causas da zonação de mangue (Tomilson 1986) e (Marchand et al.. 2004). Sendo a topografia do terreno um fator de grande importância na modificação dessa variável.

5.3.1 Transecção 1 (T1)

5.3.1.1 Topografia e frequência de inundação (FI)

Três principais feições topográficas são evidenciadas: a) zona inundada somente nas marés de sizigia, onde se localiza um bosque mono-específico colonizado por *A. germinans*, b) zona intermediária, onde se localiza um bosque Misto, colonizado pelas espécies de *A. germinans* e *R .mangle*, e c) zona frequentemente inundada onde localiza-se um bosque dominado por *R. mangle*, denominado bosque de *Rhizophora*, à aproximadamente 2 km do estuário do rio Caeté. Na zona mais elevada, a FI varia de 41 a 67 dias/ano. Na zona intermediária, a variação é de 80 a 101 dias/ano, e na zona mais baixa, frequentemente inundada, a FI variou de 124 a 162 dias/ ano (Figura 21).

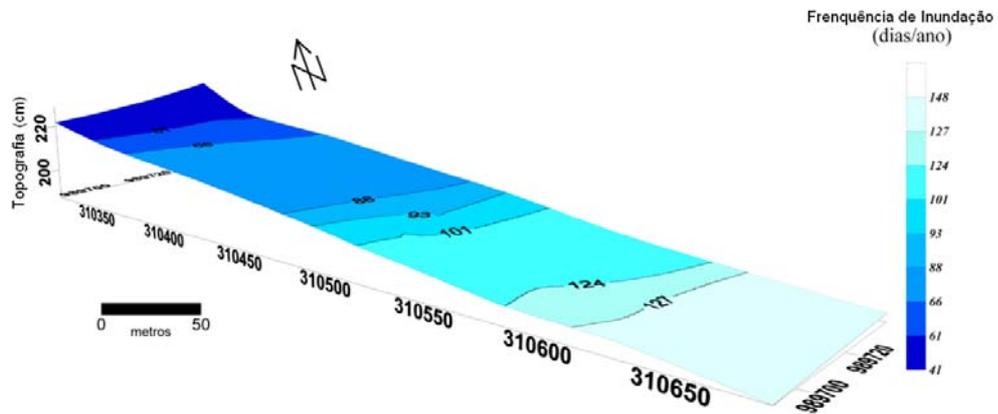


Figura 21 - Frequência de inundação da Transecção 1.

5.3.1.2 Sedimento

5.3.1.2.1 Granulometria e argilominerais

Em direção a parte mais elevada do perfil topográfico se observa uma diminuição da fração arenosa, e um leve aumento da fração argila. As maiores concentrações das frações areia (4 %) são encontradas no bosque de *Rhizophora*. A fração silte pouco muda ao longo do perfil de inundação (Figura 22).

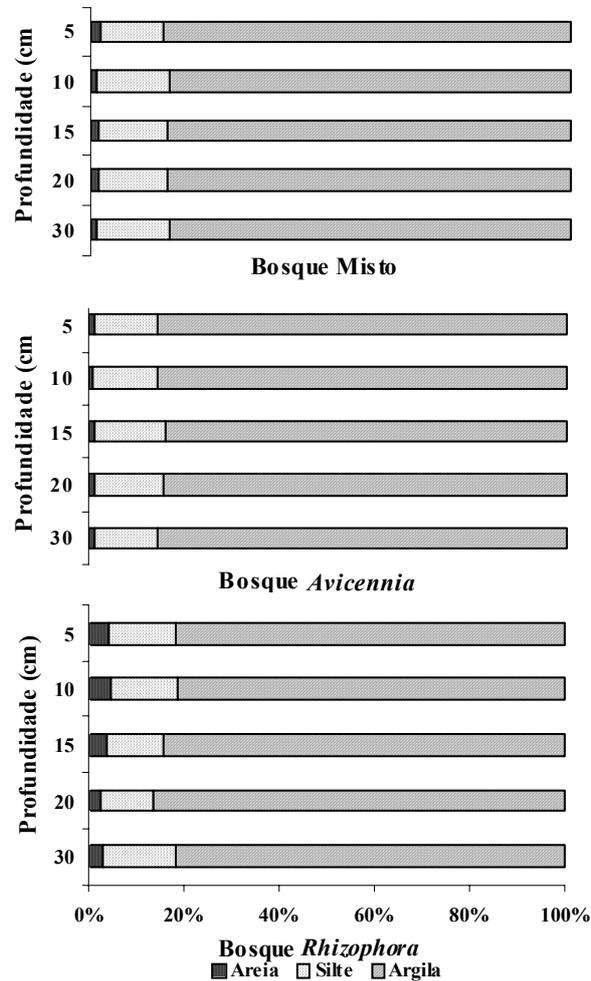


Figura 22 - Variação granulométrica nos bosques de *Avicennia*, Misto e de *Rhizophora* na transecção 1.

Os argilomenerais caulinita e esmectita apresentam comportamento inverso ao longo do perfil de inundação. Em percentuais médios, a caulinita varia de 55 no bosque de *Rhizophora* e para 44 no bosque de *Avicennia*, apresentando valores intermediários no bosque Misto de 47. Enquanto a esmectita apresenta um padrão inverso, (51) no bosque de *Avicennia* e (40) no bosque de *Rhizophora*. No bosque Misto não são observadas diferenças significativas entre esses argilominerálias, porém o comportamento inverso permanece. A ilita não mostra nenhum padrão definido, entretanto exibe uma tendência de acréscimo nas camadas superficiais com médias de 5% em ambos os bosques (Figura 23).

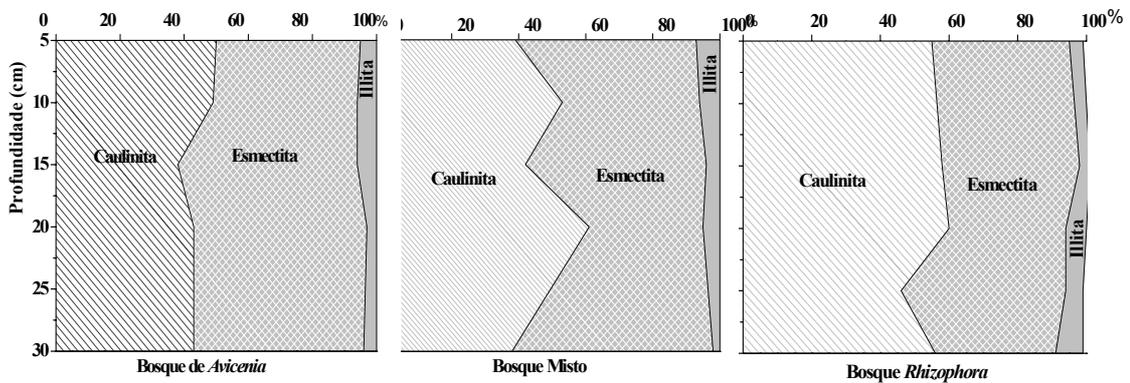


Figura 23 - Variação dos argilominerais nos bosques de *Avicennia*, Misto e de *Rhizophora* na transecção 1

5.3.1.2.2 Umidade

Os resultados dos percentuais de umidade, MO e salinidade são apresentados na Tabela (6). A variação com a profundidade é indicada na Figura 24, e o comportamento dos valores médios com o perfil de inundação pode ser visto na Figura 25. Igualmente para os resultados das concentrações P-total, P-inorg., P-org. e o P-biodisp.

O bosque de *Rhizophora* apresenta maior valor médio percentual ($50,5 \pm 1,17$), diminuindo para $48,36 \pm 1,54$ no bosque misto, não apresenta variações significativas sob os sedimentos colonizados por *Avicennia* e *Rhizophora*. No bosque de *Avicennia* são encontrados os menores valores (37 ± 3) No perfil vertical observa-se aumento com a profundidade. O comportamento da FI com a umidade é mostrado pelo valor da correlação ($r = 0,83$; $p < 0,01$; $n = 40$).

Tabela 6 - Valores médios da frequência de inundação (FI) (dias/ano); fósforo total (P-total), fósforo inorgânico (P-inorg), fósforo orgânico (P-org), fósforo biodisponível (P-biodisp.) em mg.g^{-1} em peso seco. Umidade e matéria orgânica (%) e da salinidade nos bosques de *Avicennia*, Misto e de *R. Mangle* em T1

	FI (dias/ano) (n = 12)	P-total (mg.g^{-1})	P-inorg (mg.g^{-1})	P-org (mg.g^{-1})	P-disp (mg.g^{-1})	Umidade (%)	MO (%)	Salinidade
<i>Avicennia</i>	54 \pm 11,50 (41-67)	0,53 \pm 0,02 (0,49-0,57)	0,46 \pm 0,01 (0,44-0,50)	0,07 \pm 0,01 (0,052-0,086)	0,02 \pm 0,002 (0,015-0,025)	37 \pm 3,08 (31,42-40,79)	12,15 \pm 1,74 (10,53-15,00)	74,89 \pm 18,11 (61,38-108,60)
Misto	95 \pm 5,60 (88-101)							
<i>Rhizophora</i>		0,63 \pm 0,02 (0,60-0,67)	0,58 \pm 0,02 (0,56-0,61)	0,04 \pm 0,00 (0,038-0,048)	0,031 \pm 0,003 (0,026- 0,036)	48,27 \pm 1,14 (47,08-50,00)	8,79 \pm 0,41 (8,12-9,15)	40,51 \pm 0,41 (38,8-42,80)
<i>Avicennia</i>		0,61 \pm 0,01 (0,60-0,63)	0,55 \pm 0,01 (0,53-0,57)	0,06 \pm 0,00 (0,055-0,063)	0,035 \pm 0,001 (0,033-0,037)	48,44 \pm 1,55 (46,60-50,22)	9,82 \pm 0,40 (9,40-10,37)	43,36 \pm 1,23 (42,02-45,24)
<i>Rhizophora</i>	136 \pm 10,40 (124-148)	0,71 \pm 0,04 (0,63-0,76)	0,67 \pm 0,04 (0,61-0,73)	0,03 \pm 0,00 (0,020-0,044)	0,037 \pm 0,002 (0,034-0,042)	50,52 \pm 1,72 (48,13-53,55)	6,13 \pm 0,60 (5,13-7,00)	33,41 \pm 1,50 (30,44-35,56)

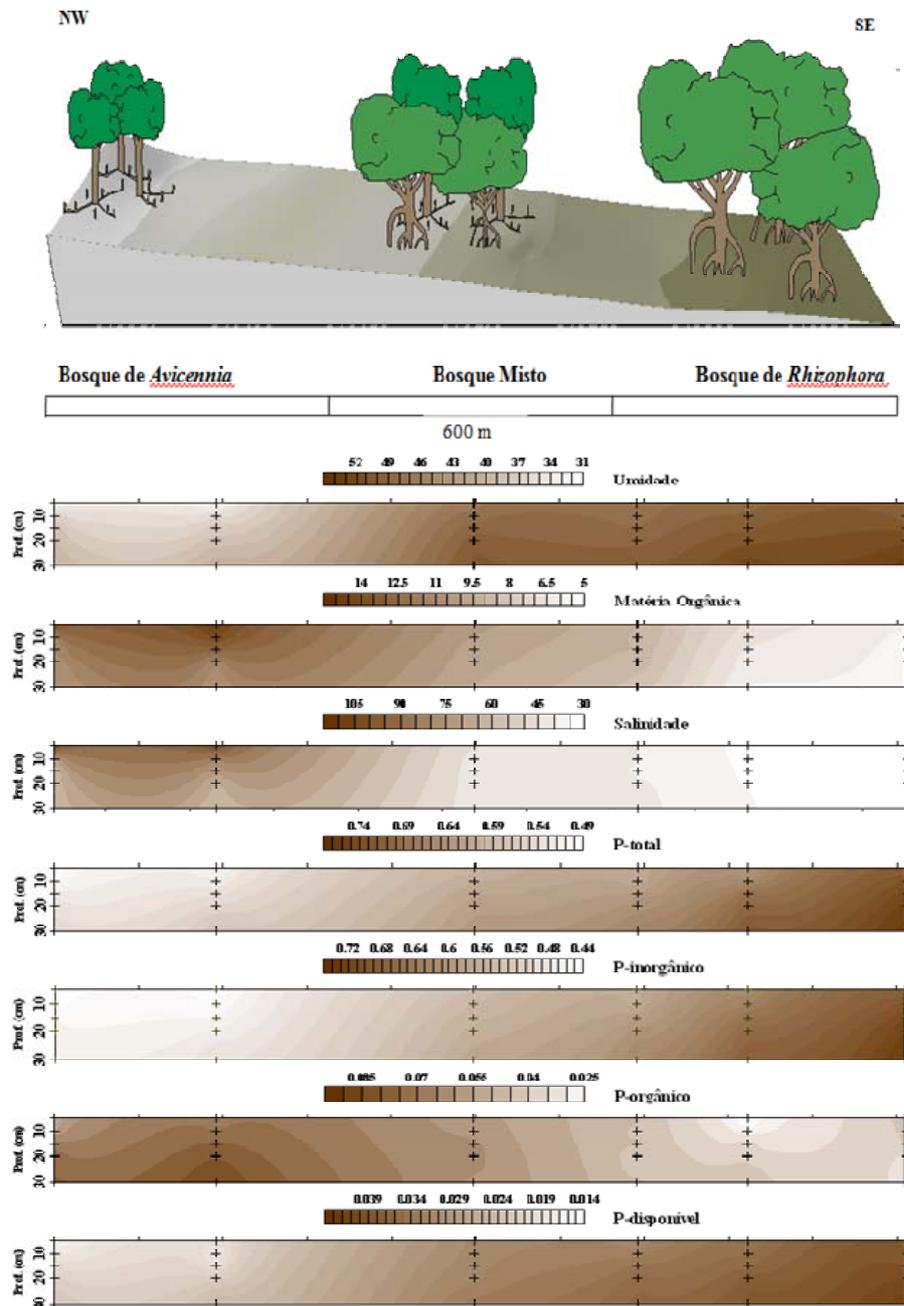


Figura 24 - Variação da umidade e MO em %; salinidade, P-total, P-inorg., P-org., e P-biodisp. em mg.g^{-1} de peso seco, nos bosques de *Avicennia*, Misto e de *Rhizophora* na transecção 1

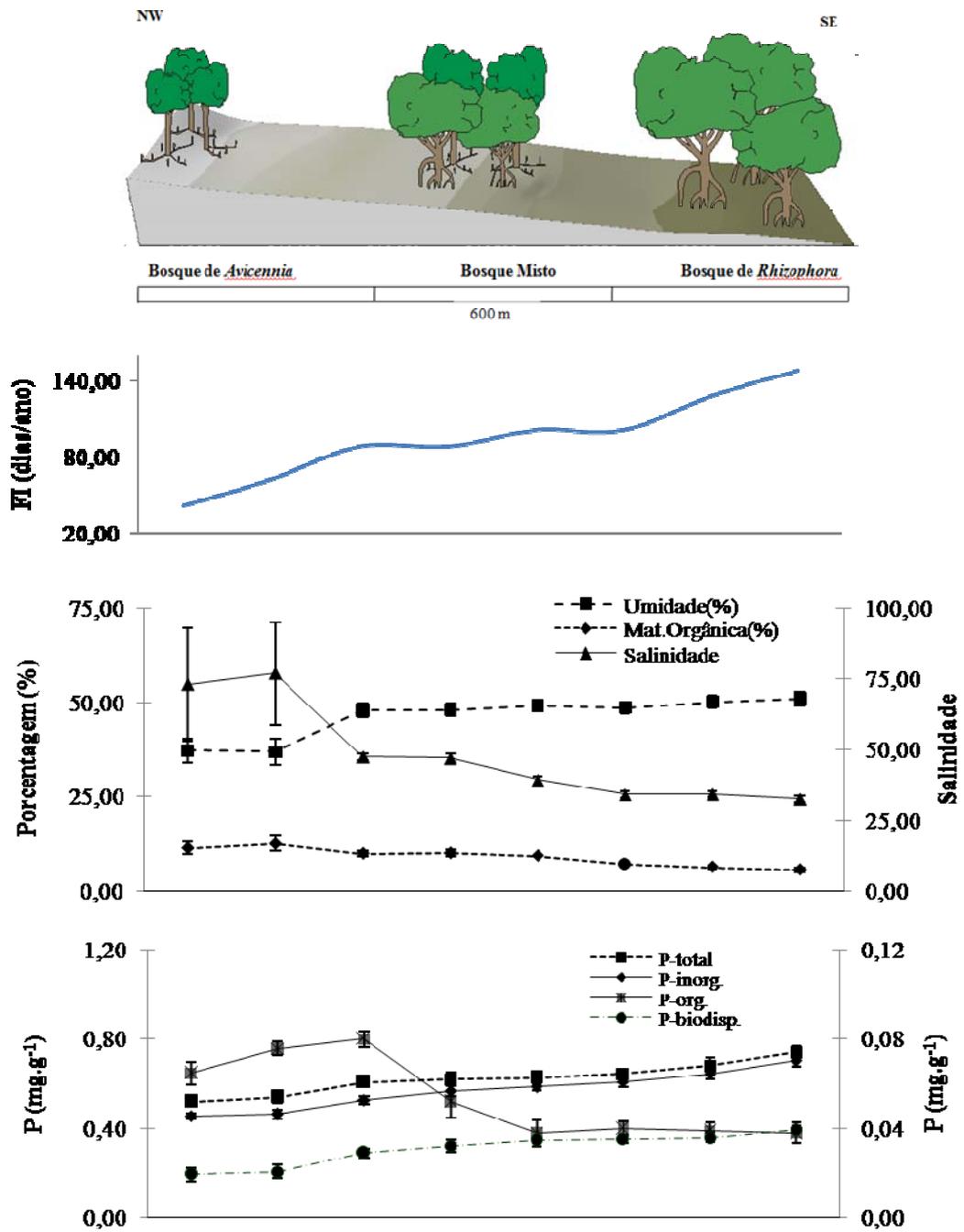


Figura 25 – Valores médios da umidade e MO em %; salinidade, P-total, P-inorg., P-org., e P-biodisp. em mg.g^{-1} de peso seco, nos bosques de *Avicennia*, Misto e de *Rhizophora* na transecção 1

5.3.1.2.3 Matéria Orgânica

O menor percentual médio da MO é observada no bosque de *Rhizophora* ($6,13 \pm 0,6$), enquanto o bosque de *Avicennia* apresenta o maior valor ($12,5 \pm 1,74$). No bosque misto, é observado menor conteúdo nos sedimentos colonizados por *Rhizophora* ($8,79 \pm 0,41$) e maior nos sedimentos sob as árvores de *Avicennia* ($9,82 \pm 0,40$). No perfil vertical, mesmo apresentando variações entre as camadas, mostra uma tendência de decréscimo com a profundidade. A tendência da MO ao longo do gradiente de inundação mostra um comportamento similar e inverso com a FI e a umidade ($r = - 0,80$; $p < 0,01$; $n = 40$)

5.3.1.2.4 Salinidade

Os valores de salinidade indicam um comportamento inverso com o gradiente de inundação. O Bosque de *Rhizophora* apresenta o menor valor médio ($33,4 \pm 1,5$), já no bosque de *Avicennia* é observado ampla variação no perfil vertical; com maior valor registrado na camada 0 - 5 cm ($108,6$). E na camada 0-30 cm apresenta média de $74,9 \pm 18,1$. No bosque misto, uma ligeira diferença é observada sob as árvores de *Rhizophora* ($40,51 \pm 0,41$) e de *Avicennia* ($43,36 \pm 1,23$) (Tabela 6). Ao longo de toda transecção, a tendência é de decréscimo com a profundidade. O comportamento inverso desse parâmetro com a umidade é fortemente significativo, ($r = - 0,92$; $p < 0,01$; $n = 40$); da mesma forma ocorre com a MO ($r = 0,9$; $p < 0,05$; $n = 40$), porém, com correlação positiva.

5.3.1.2.5 Fósforo

O fósforo total (P-total) apresenta maior concentração na zona frequentemente inundada do perfil topográfico, no bosque de *Rhizophora* ($0,70 \pm 0,03 \text{ mg.g}^{-1}$). No bosque misto, sua concentração média é de $0,64 \pm \text{mg.g}^{-1}$, com teores similares sob as árvores de *Avicennia* e de *Rhizophora*. O menor valor médio é registrado no bosque de *Avicennia*, ($0,50 \pm 0,05 \text{ mg.g}^{-1}$) No perfil vertical, mostra uma nítida tendência de acréscimo com a profundidade (Figura 27). A correlação entre o P-total com a FI ($r = 0,80$; $p < 0,01$; $n = 40$) e com a umidade ($r = 0,90$; $p <$

0,01; n=40) mostrou significativa correlação positiva. Do mesmo modo, com a MO ($r = - 0,8$; $p < 0,01$; n=40) e com a salinidade ($r = - 0,83$; $p < 0,01$; n=40), as tendências embora negativas mostram o grau de interação entre essas variáveis e o P-total.

O fósforo inorgânico (P-inorg) representou a fração mais significativa do P-total ao longo de toda transecção (85%), mostrando-se altamente correlacionáveis, ($r = - 0,96$; $p < 0,01$; n = 40). Os valores médios foram de ($0,62 \pm 0,07 \text{ mg.g}^{-1}$), ($0,60 \pm 0,04 \text{ mg.g}^{-1}$) e ($0,42 \pm 0,05 \text{ mg.g}^{-1}$) nos bosques de *Rhizophora*, misto e de *Avicennia* respectivamente. No bosque misto, nenhuma diferença foi observada nos sedimento sob as árvores de *Rhizophora* e *Avicennia*.

O fósforo orgânico (P-org.) representa 8,73% do P-total ao longo do gradiente de inundação. Apresenta médias de ($0,03 \pm 0,00 \text{ mg.g}^{-1}$) no bosque de *Rhizophora* e ($0,07 \pm 0,01 \text{ mg.g}^{-1}$) no bosque de *Avicennia*. No bosque misto, apresentou concentrações mais baixas nos sedimentos de *Rhizophora* ($0,04 \pm 0,00 \text{ mg.g}^{-1}$) do que nos sedimentos de *Avicennia* ($0,06 \pm 0,00 \text{ mg.g}^{-1}$). (Tab 6). Não apresenta correlação com o Ptotal.

O P-disponível (P-disp.) representa 5,35% do P-inorg. em toda transecção. Esse percentual aumenta com o gradiente de inundação, alcançando valor máximo, no bosque misto, nos sedimentos de *Rhizophora* (5,75%) e no bosque de *Rhizophora* (5,6%) Espacialmente, seguiu o mesmo padrão do P-total e P-inorgânico. As médias foram de $0,04 \text{ mg.g}^{-1}$ e $0,02 \pm 0,003 \text{ mg.g}^{-1}$ nos bosques de *Rhizophora* e *Avicennia* respectivamente. No bosque misto, houve uma breve diferença entre os sedimentos de *Rhizophora* ($0,034 \pm 0,002 \text{ mg.g}^{-1}$) e de *Avicennia* ($0,032 \pm 0,002 \text{ mg.g}^{-1}$). (Tabela 6). Apresentou alta correlação com o P-inorg. ($r = 0,87$; $p < 0,01$; n=40). E melhor ainda com a umidade ($r = 0,96$; $p < 0,01$; n=40).

5.3.1.2.6 Capacidade de troca catiônica (CTC)

A CTC diminui ao longo do gradiente de inundação e umidade. Os mais baixos valores são encontrados no bosque de *Rhizophora* ($117 \pm 2 \text{ cmol.Kg}^{-1}$), enquanto na elevação da transecção, no bosque de *Avicennia*, os valores observados foram de ($142,40 \pm 3 \text{ cmol.Kg}^{-1}$). No bosque misto, foi encontrado valor de ($131 \pm 1,8 \text{ cmol.Kg}^{-1}$), com um ligeiro aumento sob as árvores de *Avicennia* (Tabela 7). A CTC acompanha suavemente a tendência da esmectita ao longo da transecção (Figura 26), como mostra o valor da correlação ($r = 0,59$; $p < 0,01$; n = 20). Entretanto com a MO apresenta uma nítida tendência positiva ($r = 0,82$; $p < 0,01$; n = 20).

Com a umidade apresenta significativa correlação ($r = - 0,77$; $p < 0,01$; $n = 20$). Com a umidade está negativamente correlacionada ($r = - 0,92$; $p < 0,05$; $n = 20$). Os maiores valores da umidade estão associados aos menores valores da CTC. Com o P-biodisp., o comportamento é o mesmo, indicando uma relação inversa ($r = - 0,88$; $p < 0,05$; $n = 20$). Por outro lado, vale ressaltar também o comportamento da CTC com o argilomineral caulinita ($r = -0,57$; $p < 0,05$; $n = 20$), que mostra uma tendencia fraca, mas estatisticamente significativa (Figura 26).

Tabela 7 – Valores médios da capacidade de troca catiônica (CTC) nos bosques de *Avicennia*, Misto e *Rhizophora* no gradiente de inundação.

Bosque	FI (dias/ano)	CTC (cmol.Kg ⁻¹)	Umidade (%)	Mat. Orgânica (%)	Salinidade	P-total (mg.g ⁻¹)	P-org. (mg.g ⁻¹)	P-biodisp. (mg.g ⁻¹)
<i>Avicennia</i>		41						
<i>A. germinans</i>		142,4 ±3 (138-145)	37,20 ±3 (32-39)	11,57 ±1,2 (10,5-14,3)	72,93 ±20 (61,4-108,6)	0,52 ±0,02 (0,50-0,54)	0,063 ±0,00 (0,056-0,058)	0,02 ±0,00 (0,015-0,023)
Misto		88						
<i>A. germinans</i>		132,2 ±2 (129-135)	47,87 ±1,8 (45,73-49,84)	11,13 ±0,7 (9,35-10,8)	47,48 ±1,72 (46,23-49)	0,60 ±0,01 (0,60-0,62)	0,073 ±0,00 (0,072-0,075)	0,03 ±0,00 (0,026-0,032)
<i>R. mangle</i>		130,4 ±1,3 (128-132)	48,02 ±1,7 (45,8-49,84)	10,23 ±0,78 (9,1-10,89)	46,88 ±1,72 (45-49)	0,62 ±0,03 (0,58-0,66)	0,052 ±0,00 (0,042-0,060)	0,032 ±0,00 (0,029-0,036)
<i>Rhizophora</i>		148						
<i>R. mangle</i>		117 ±2,1 (115-119)	51 ±1,82 (49-53)	5,77 ±1, (5,13-6,6)	32,53 ±1,32 (30,4-34)	0,74 ±0,02 (0,70-0,76)	0,038 ±0,00 (0,032-0,043)	0,04 ±0,00 (0,04-0,042)

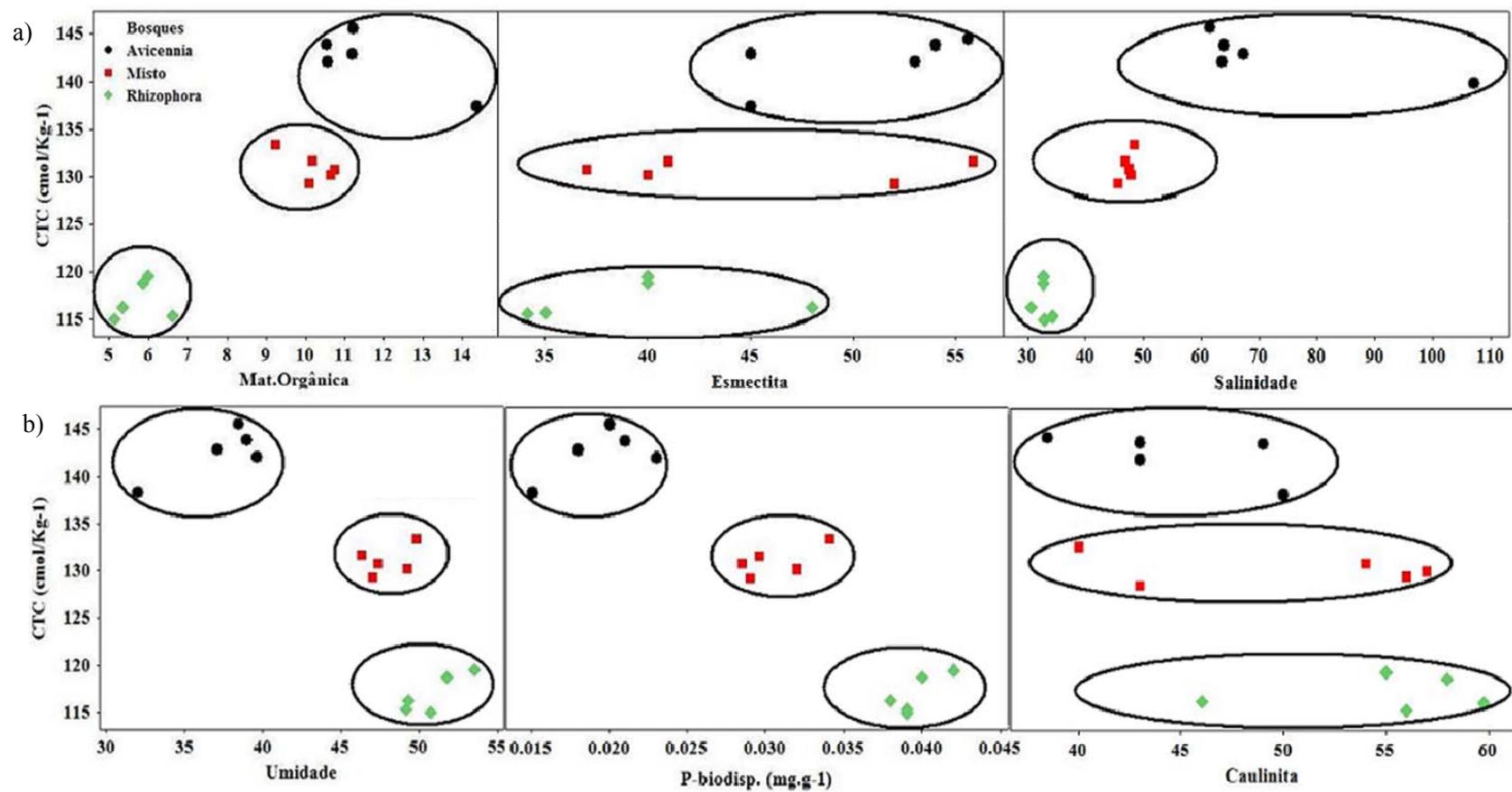


Figura 26 - Variação da CTC nos sedimentos do manguezal de Bragança em T1. a) matéria orgânica, esmeclita e salinidade; b) umidade, Fósforo biodisponível e caulinita.

5.3.1.3 Vegetação

5.3.1.3.1 Parâmetros fitossociológicos

No bosque de *Rhizophora*, a espécie de *R. mangle* apresenta maior densidade relativa (DoR) (58%) do que as outras espécies presentes neste bosque: *A. germinans* (37%) e *L. racemosa* (5%). A área basal ($27 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$) é levemente menor do que a da *A. germinans* ($29 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$), porém, o maior valor de importância (VI) da *R. mangle* (142) quando comparado ao VI da *A. germinans* (123) reflete a dominância da espécie de *Rhizophora* nesse bosque, que não é afetada pelo alto valor de altura e DAP de um único indivíduo de *Avicennia*, presente nesse sítio. A *L. racemosa* apresenta baixa densidade relativa (5,26%), refletindo em modesta área basal ($2 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$). (Tabela 8).

No bosque Misto, a espécie de *A. germinans* é a espécie dominante, com DoR (59%), VI (164) e área basal ($19,55 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$). Enquanto a espécie de *Rhizophora*, com menor densidade (41%), mostra menor VI (136) e também menor área basal ($16 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$). Porém, apesar da dominância da *Avicennia* nesse bosque, as árvores de *Rhizophora* apresentam maior média de altura ($11,4 \pm 2,57 \text{ m}$) e DAP ($15,4 \pm 3,85 \text{ cm}$) quando comparada às árvores de *Avicennia* com altura média de $10,3 \pm 2,05 \text{ m}$ e DAP médio de $14 \pm 4,56 \text{ cm}$. (Tabela 8).

No bosque de *Avicennia*, a espécie de *A. germinans* é dominante (100%) nas parcelas amostradas. Esse bosque mostra maior densidade das árvores de *Avicennia*, e mais baixos valores em altura ($7,8 \pm 1,5 \text{ m}$) e DAP ($14,10 \pm 4,54 \text{ cm}$) de toda transecção.

Tabela 8 - Valores médios dos parâmetros estruturais da transeção 1(T1)..

Bosque	FI (dias/ano) (n = 12)	Número de Indivíduos	DAP (cm)	Altura (m)	Densidade (ind/ha⁻¹)	Densidade relativa	Frequência relativa	Área Basal (m².ha⁻¹)	Volume (cm³)	Valor de Importância
<i>Avicennia</i>	57 ±11,80 (41- 67)				583					
<i>A.germinans</i>		70	14,11 ±4,54 (7,2-26,20)	7,80 ±1,5 (3,43-11)		100	100	30,17	97659	300
Total		70				100	100	30,17	97659	
Misto	94 ±5,60 (88-101)				650					
<i>R.mangle</i>		32	15,39 ±3,85 (10,5-27,8)	11,5 ±2,57 (6,25-18)		41,03	50	15,79	78066	136
<i>A.germinans</i>		46	14,00 ±4,56 (8-36,4)	10,3 ±2,05 (7,1-16,5)		58,97	50	19,55	81849	164
Total		78				100	100	35,33	159915	
<i>Rhizophora</i>	133 ±10,40 (124-148)				475					
<i>R.mangle</i>		33	19,33 ±6,60 (11,2-37,4)	12,8 ±2,84 (7-20,5)		57,89	37,5	26,97	142101	141
<i>A.germinans</i>		21	20,56 ±16,91 (8,9-88,4)	13,5 ±3,99 (8,3-27,2)		36,84	37,5	29,24	243130	124
<i>L.racemosa</i>		3	15,0 ±8,40 (10,2-21)	10,5 ±0,6 (9-12)		5,26	25	2,186	10971	34
Total		57				100	100	58,39	396202	

5.3.1.3.2 Fósforo nas folhas

As concentrações de fósforo nas folhas variam de 1,55 a 1,03 mg.g⁻¹ com médias de (1,55 ± 0,1 mg.g⁻¹) nas folhas de *R. mangle* no bosque de *Rhizophora*, onde se encontram os maiores valores. Diminui no bosque Misto, um menor teor encontrado nas folhas de *Avicennia* (1,23 ± 0,1 mg.g⁻¹) quando comparado com a concentração encontrada nas folhas de *Rhizophora* (1,30 ± 0,04 mg.g⁻¹). A menor concentração foi registrada no bosque de *Avicennia* nas folhas de *A. germinans* (1,03 mg.g⁻¹ ± 0,1 mg.g⁻¹) (Tabela 9) e (Figura 27).

Tabela 9 - Valores médios da concentração de P-folhas, DAP (cm) e altura (m) nas árvores de *A. germinans* e *R. mangle* em T1.

Bosque	FI (dias/ano) (n = 12)	Número de Indivíduos	P-folhas (mg.g-1)	DAP (cm)	Altura (m)
<i>Avicennia</i>	57 ± 11,80 (41 - 67)				
<i>A.germinans</i>		9	1,07 ±0,02 (1,03-1,10)	14,00 ±6,3 (7,20-24)	7,56 ±1,2 (5-9,3)
Total		9			
Misto	94 ± 5,60 (88 - 101)				
<i>R.mangle</i>		9	1,29 ±0,04 (1,23-1,33)	15,30 ±3,58 (10,50-22,50)	10 ±2,75 (8,3-16,00)
<i>A.germinans</i>		9	1,23 ±0,1 (1,09-1,33)	13,00 ±4,63 (8,00-24)	11,53 ±2,64 (7,10-16,50)
Total		18			
<i>Rhizophora</i>	133 ± 10,40 (124 - 148)				
<i>R.mangle</i>		9	1,55 ±0,10 (1,45-1,72)	21,20 ±5,80 (14-30,5)	14,74 ±3,19 (9,5-20,5)

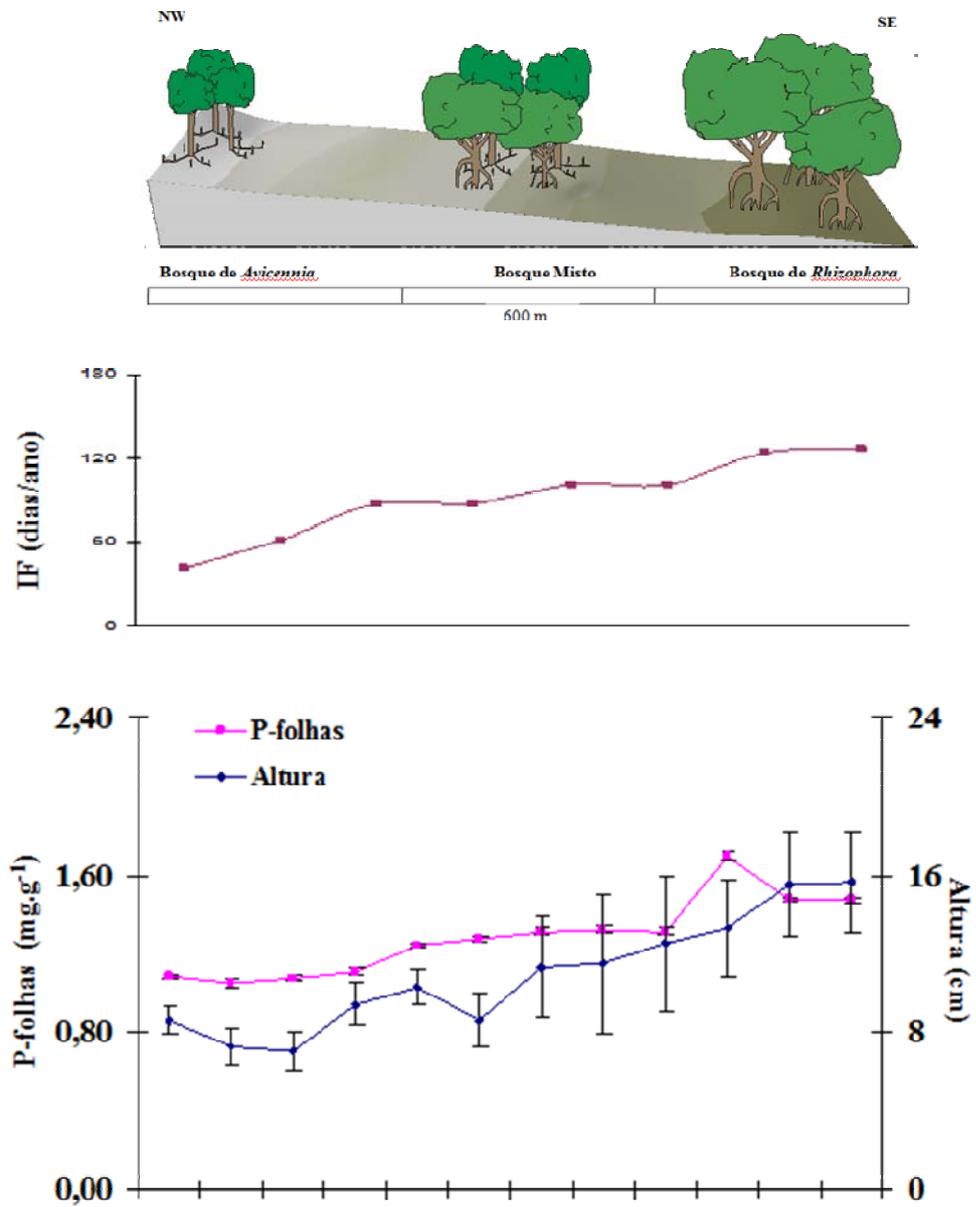


Figura 27- Variação média das concentrações de P-folhas e altura das árvores de *A. germinans* e *R. Mangle* nos bosques de *Avicennia*, Misto e de *Rhizophora* em T1

5.3.1.4 TRATAMENTO ESTATISTICO

5.3.1.4.1 Análise de variância (ANOVA)

Com base na ANOVA, o teste das médias (*Post Hoc* – teste de *Fisher*) das variáveis no compartimento do sedimento: umidade, salinidade, MO e P-total.), entre as três populações analisadas (bosque de *Rhizophora*, bosque Misto e bosque de *Avicennia*) o resultado indica que as mesmas pertencem a populações diferentes. Como mostra os resultados das Tabelas (10 a 17).

Tabela 10 - Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste *F* (F) e valor-*p* (*p*) para a Umidade.

Fonte de Variação	G.L	SQ	MQ	<i>F</i>	<i>p</i>
Nº de populações	3	1134	567	44	.00
Erro	36	146	3.94		
Total	39	1280			

Tabela 11 - Teste *Post Hoc* de *Fisher* mostrando os níveis descritivos do valor *p*, para a variável Umidade

Bosques	Bosque de <i>Rhizophora</i>	Bosque Misto	Bosque de <i>Avicennia</i>
Valor médio (%)	37.06	48.36	50.52
Bosque de <i>Rhizophora</i>		0.00	0.00
Bosque Misto	0.00		0.01
Bosque de <i>Avicennia</i>	0.00	0.01	

Tabela 12 - Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste *F* (F) e valor-*p* para MO.

Fonte de Variação	G.L.	SQ	MQ	<i>F</i>	<i>p</i>
Nº de populações	3	182	90.99	6.19	.00
Erro	36	50.86	1.38		
Total	39	233			

Tabela 13 - Teste *Post Hoc* de Fisher mostrando os níveis descritivos do valor-*p*, para a variável Matéria Orgânica.

Bosques	Bosque de <i>Rhizophora</i>	Bosque Misto	Bosque de <i>Avicennia</i>
Valor médio (%)	12.15	9.14	6.18
Bosque de <i>Rhizophora</i>		0.00	0.00
Bosque Misto	0.00		0.00
Bosque de <i>Avicennia</i>	0.00	0.00	

Tabela 14 - Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste *F* (F) e valor-*p* para a salinidade.

Fonte de Variação	G.L.	SQ	MQ	<i>F</i>	<i>p</i>
Nº de populações	3	1806	5403	61.94	0.00
Erro	36	3227	87.22		
Total	39	14033			

Tabela 15 - Teste *Post Hoc* de Fisher mostrando os níveis descritivos do p-value para a variável Salinidade

Bosques	Bosque de <i>Rhizophora</i>	Bosque Misto	Bosque de <i>Avicennia</i>
Valor médio	74.90	41.94	33.41
Bosque de <i>Rhizophora</i>		0.00	0.00
Bosque Misto	0.00		0.032
Bosque de <i>Avicennia</i>	0.00	0.032	

Tabela 16 - Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste *F* (F) e valor-*p* (*p*) para o P-total.

Fonte de Variação	G.L	SQ	MQ	<i>F</i>	<i>p</i>
Nº de populações	3	0.16	0.08	91.92	0.00
Erro	36	0.03	0		
Total	39	0.2			

Tabela 17 - Teste *Post Hoc* de Fisher mostrando os níveis descritivos do p-value para a variável P-total.

Bosques	Bosque de <i>Rhizophora</i>	Bosque Misto	Bosque de <i>Avicennia</i>
Valor médio (mg.g ⁻¹)	0.50	0.64	0.70
Bosque de <i>Rhizophora</i>		0.00	0.00
Bosque Misto	0.00		0.01
Bosque de <i>Avicennia</i>	0.00	0.01	

Os resultados do teste indicam que houve significância estatística (p-valor <0.05), em alguns pares. Deste modo, observa-se que a umidade, matéria Orgânica, Salinidade e P-total apresentam resultado significativo em todas as combinações possíveis no *post hoc*.

5.3.1.4.2 Análise discriminante

As Tabelas 18 a 22 mostram os resultados da aplicação da análise discriminante para a caracterização dos três bosques nessa transecção. A Tabela 18 apresenta as médias das variáveis utilizadas. Os bosques, Misto e de *Rhizophora*, mostram menor distancia de Mahalanobis (Tabela 19), o que indica que estes são mais similares entre si quando comparados ao bosque de *Avicennia*. A Tabela 20, da matriz de classificação, apresenta um total de acertos de 88%, e mostra que as variáveis: umidades, matéria orgânica, salinidade e P-total no compartimento do sedimento estão alocadas corretamente nos três distintos bosques (*Rhizophora*, Misto e *Avicennia*).

Tabela 18 - Médias dos bosques ao longo de T1, n = 40.

	Umidade (%)	M.Orgânica (%)	Salinidade	P-total (mg.g ⁻¹)
Bosque de <i>Avicennia</i>	37.06	12.15	74.90	0.50
Bosque Misto	48.36	9.30	41.94	0.64
Bosque de <i>Rhizophora</i>	50.52	6.13	33.41	0.70

Tabela 19 - Distância de *Mahalanobis* entre as florestas em T1

	Bosque de <i>Avicennia</i>	Bosque Misto	Bosque de <i>Rhizophora</i>
Bosque de <i>Avicennia</i>	0	34	49
Bosque Misto	34	0	6
Bosque de <i>Rhizophora</i>	49	6	0

Tabela 20 - Matriz de classificação das variáveis analisadas.

	Bosque de <i>Avicennia</i> p=,25	Bosque Misto p=,50	Bosque de <i>Rhizophora</i> p=,25	Porcentagem de acerto
Bosque de <i>Avicennia</i>	10	0	0	100
Bosque Misto	0	17	3	85
Bosque de <i>Rhizophora</i>	0	2	8	80
Total	10	19	11	87.5

Tabela 21 - Funções lineares discriminantes para os bosques de *Avicennia*, Mista e de *Rhizophora*.

Coefficient	<i>Avicennia</i>	Mista	<i>Rhizophora</i>
Intercepto	-531.42	-663.08	-677.78
Umidade (%)	22.28	25.59	26.06
Mat.Orgânica (%)	1.94	2.24	0.11
Salinidade	3.49	3.53	3.74
P-total (mg.g ⁻¹)	-100.48	-126.05	-128.02

As funções lineares discriminantes apresentadas na Tabela 21 podem ser representadas como:

$$\text{Bosque de } \mathbf{Avicennia} = -531,4 + 22,3 * \text{Umidade} + 3,48 * \text{Salinidade} + 1,9 * \text{MO} - 100,47 * \text{P-total} \quad (30)$$

$$\text{Bosque Misto} = -663 + 25,6 * \text{Umidade} + 3,5 * \text{Salinidade} + 2,2 * \text{MO} - 126 * \text{P-total} \quad (31)$$

$$\text{Bosque de } \mathbf{Rhizophora} = -677,8 + 22,3 * \text{Umidade} + 3,7 * \text{Salinidade} + 0,1 * \text{MO} - 128 * \text{P-total} \quad (32)$$

Como houve 88 % de classificação correta (Tabela 20), considera-se que a utilização, das três funções discriminantes podem ser utilizadas na classificação e alocação das variáveis, umidade, matéria orgânica, salinidade e P-total nos sedimentos da transecção 1.

A Figura 29 mostra os escores para as variáveis calculadas no espaço discriminante, em que se observa que o uso da análise discriminante permite mostrar como os bosques apresentam características próprias, ou seja, podem ser discriminados entre si.

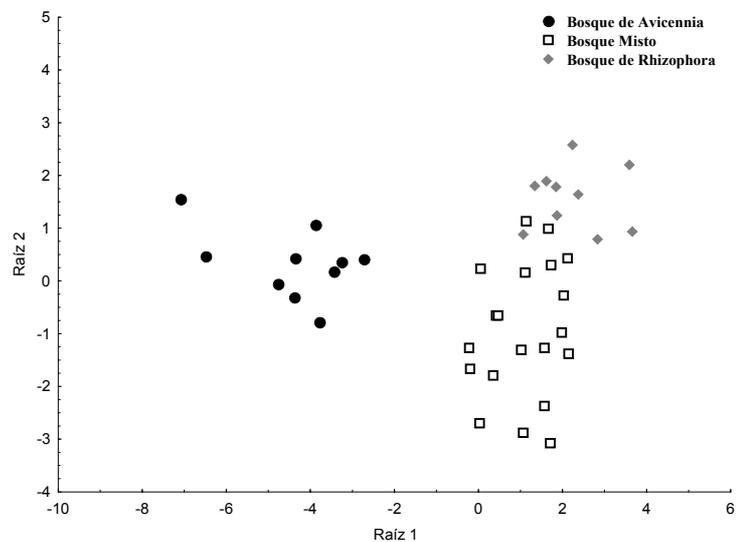


Figura 28 - Dispersão dos bosques de *Avicennia*, Misto e de *Rhizophora* no espaço discriminante.

Tabela 22 Contribuição relativa (%) das variáveis (umidade, MO, salinidade e P-total) na separação dos bosques *Avicennia*, Misto e de *Rhizophora*.

Variáveis	Bosques		
	<i>Avicennia</i> – Misto	<i>Avicennia</i> - <i>Rhizophora</i>	Misto - <i>Rhizophora</i>
Umidade (%)	110	103	18
Mat.Orgânica (%)	3	22	108
Salinidade	4	22	31
P-total (mg.g ⁻¹)	11	11	2

Utiliza-se a equação (29) para avaliar a contribuição relativa para cada variável na separação dos bosques. Os resultados, apresentados na Tabela 22, comprovam a eficiência da separação dos bosques e mostra, com nível de significância de $p < 0,00$, que a variável umidade é igualmente a mais importante na discriminação entre os bosques (Misto e *Rhizophora*) e o bosque de *Avicennia* e o bosque de *Rhizophora*. Enquanto a MO é a mais importante na discriminação entre os bosques de *Rhizophora* e Misto.

5.3.2 Transecção 2 (T2)

5.3.2.1 Topografia e frequência de inundação

Quatro feições topográficas, inundadas somente nas marés de sizigia são evidenciadas: a) parte mais elevada, onde se encontra o Campo arbustivo, composto por plantas de porte arbustivo da espécie de *A. schaueriana* e plantas herbáceas de *S. portulacastrum* e *S. virginicus*. Apresenta valores de FI, variando de 35 a 50 dias/ano, b) zona onde está localizado o bosque de *A. schaueriana* com estrato herbáceo, composta por espécie arbórea de *A. schaueriana* coexistindo com vegetação herbácea de *S. portulacastrum*, *S. virginicus* e *B. marítima*. Apresenta FI na faixa de 53 a 84 dias/ano, c) Área onde se encontra o bosque monoespecífico colonizado por espécie de *A. schaueriana* apresenta FI variando de 90 a 111 dias/ano; e d) parte mais baixa do perfil topográfico, colonizado principalmente por espécie de *A. germinans*. Nesse local a FI varia de 117 a 138 dias/ ano (Figura 29).

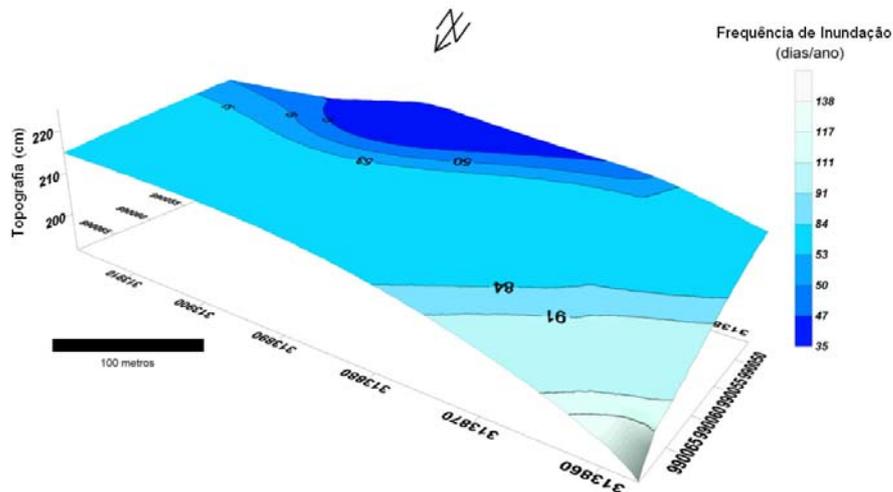


Figura 29 - Frequência de inundação da Transecção 2.

5.3.2.2 Sedimentos

Ao longo da elevação do perfil topográfico, observa-se uma diminuição da fração arenosa, e da fração silte, acompanhada do aumento da fração argila. Sendo que as maiores concentrações da fração areia (3%) e de silte (14%) foram encontradas no bosque *A. germinans* com um ligeiro decréscimo da fração argila (83%).

Os valores médios de SiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , MgO e CaO apresentaram um padrão uniforme com maiores concentrações na zona de maior inundação, no bosque de *A. germinans*, enquanto os teores Al_2O_3 foram ligeiramente mais elevados na área do campo arbustivo. Os valores de Na_2O , K_2O e TiO_2 não mostraram nenhuma variação no perfil topográfico. O P_2O_5 mostrou uma leve tendência de acréscimo na área mais inundada, no bosque de *A. germinans*

5.3.2.2.1 Granulometria e argilominerais

Ao longo da elevação do perfil topográfico, observa-se uma discreta diminuição da fração arenosa, e da fração silte, acompanhada do aumento da fração argila. As maiores concentrações das frações areia (3%) e de silte (14%) são encontradas no bosque *A. germinans* com um ligeiro decréscimo da fração argila (83%), com a profundidade, não mostra padrão definido (Figura 30).

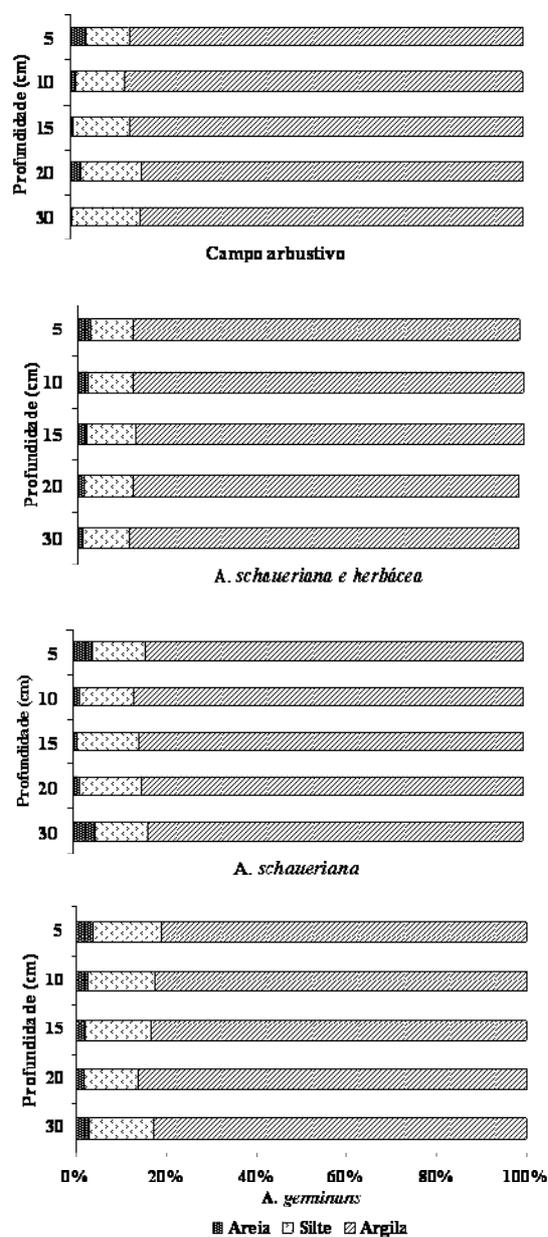


Figura 30 - Variação granulométrica nos bosques da Transecção 2.

Na fração argila a caulinita é a mais representativa com teor de 60%, no bosque de *A. germinans*, enquanto para a esmectita é observado o menor percentual de 32%. A illita não variou e ao longo da transecção, seus valores ficaram na faixa de 7% (Figura 31).

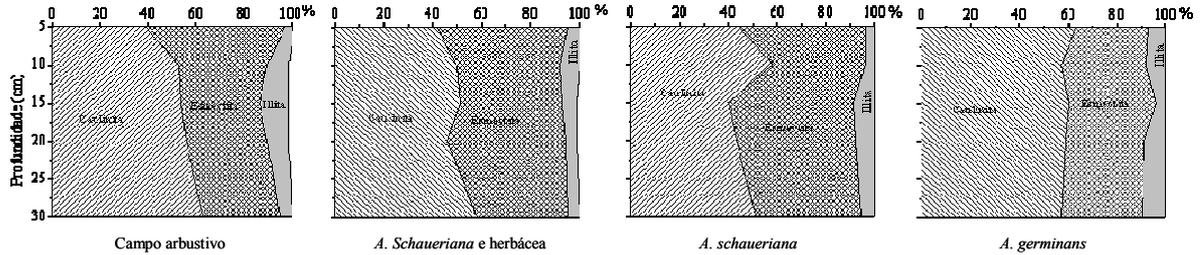


Figura 31 – Variação média dos argilominerais, caulinita, esmedtita e ilita em (%) nos sedimentos do Campo arbustivo bosque de *A. schaueriana* com herbácea, bosque de *A. schaueriana*, e bosque de *A. germinans* em T2.

Os resultados dos percentuais de umidade e matéria orgânica (MO), salinidade e teores de fósforo são apresentados na Tabela (23). A variação com a profundidade é amostrada na Figura 32, e o comportamento dos valores médios com o perfil de inundação é representado na Figura 33. Da mesma forma para as concentrações de P-total, P-inorg., P-org., e P-biodisponível.

5.3.2.2.1 Umidade

O conteúdo médio da umidade é de $(45,03 \pm 1,8)$ no bosque de *A. germinans*, com ligeira diminuição para bosque de *A. schaueriana* $(43,14 \pm 2,42)$, mostrando menor valor para o bosque de *A. schaueriana* com estrato herbáceo $(35,91 \pm 3,46)$ e Campo arbustivo $(31 \pm 1,4)$. No perfil vertical, ocorre acréscimo com a profundidade, com mais intensidade na zona dos bosques. Ao longo de toda transecção, o comportamento linear e positivo com a FI é mostrado pelo valor da correlação ($r=0,9$; $p<0,01$; $n=40$). Nas áreas de bosque, a correlação com a FI é de ($r=0,79$; $p<0,01$; $n=30$).

Tabela 23 - Valores médios da frequência de inundação (FI) (dias/ano); fósforo total (P-total), fósforo inorgânico (P-inorg), fósforo orgânico (P-org.), fósforo biodisponível (P-biodisp.) em mg.g^{-1} em peso seco. Umidade e matéria orgânica (%) e da salinidade ao longo do gradiente de inundação da transecção 1 (T2), n = 40.

Sítios	FI (dias/ano)	P-total (mg.g^{-1})	P-inorg (mg.g^{-1})	P-org (mg.g^{-1})	P-disp (mg.g^{-1})	Umidade (%)	MO (%)	Salinidade
Campo arbustivo	45 ±4,74							
<i>A. schaueriana</i> arbustivas com herbácea	(41-50)	0,46 ±0,02 (0,43-0,50)	0,40 ±0,02 (0,38-0,44)	0,06 ±0,00 (0,04-0,07)	0,02 ±0,00 (0,015-0,021)	31,00 ±1,40 (28,69-33,83)	8,03 ±0,62 (7,03-8,98)	98,62 ±24,5 (70,02-149,60)
Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	69 ±17 (53-84)							
<i>A. schaueriana</i> com herbácea		0,44 ±0,02 (0,40-0,47)	0,38 ±0,03 (0,35-0,41)	0,06 ±0,01 (0,045-0,065)	0,02 ±0,00 (0,014-0,020)	35,91 ±3,46 (30,22-39,56)	7,31 ±0,75 (6,17-8,31)	76,18 ±7,56 (67,15-87,22)
Bosque de <i>A. schaueriana</i>	100 ±10,7 (90-111)							
<i>A. schaueriana</i>		0,46 ±0,04 (0,42-0,49)	0,40 ±0,02 (0,37-0,44)	0,06 ±0,02 (0,046-0,065)	0,02 ±0,00 (0,014-0,016)	43,14 ±2,42 (40,47-47,51)	6,75 ±0,44 (5,71-7,21)	68,17 ±9,56 (58,02-81,72)
Bosque de <i>A. germinans</i>	133 ±9,26 (117-138)							
<i>A. germinans</i>		0,46 ±0,01 (0,39-0,43)	0,39 ±0,43 (0,39-0,43)	0,07 ±0,01 (0,020-0,044)	0,014 ±0,00 (0,014-0,015)	45,03 ±1,80 (42,96-47,54)	6,43 ±0,44 (5,96-7,14)	47,30 ±1,69 (44,14-50,00)

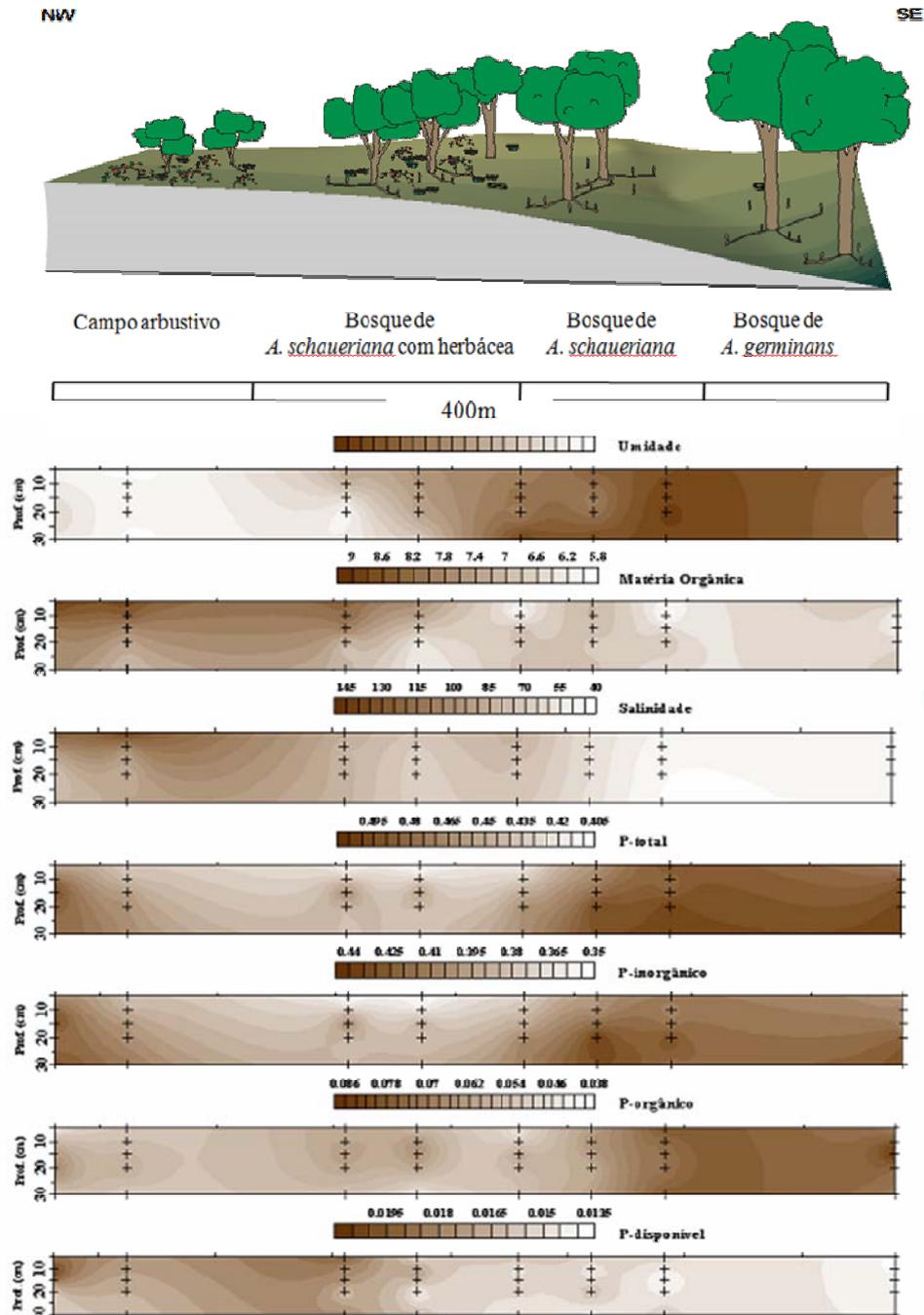


Figura 32 - Variação da umidade e MO em %; salinidade, P-total, P-inorg., P-org., e P-biodisp. em $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso seco, no Campo arbustivo bosque de *A. schaueriana* com herbácea, bosque de *A. schaueriana*, e bosque de *A. germinans* em T2

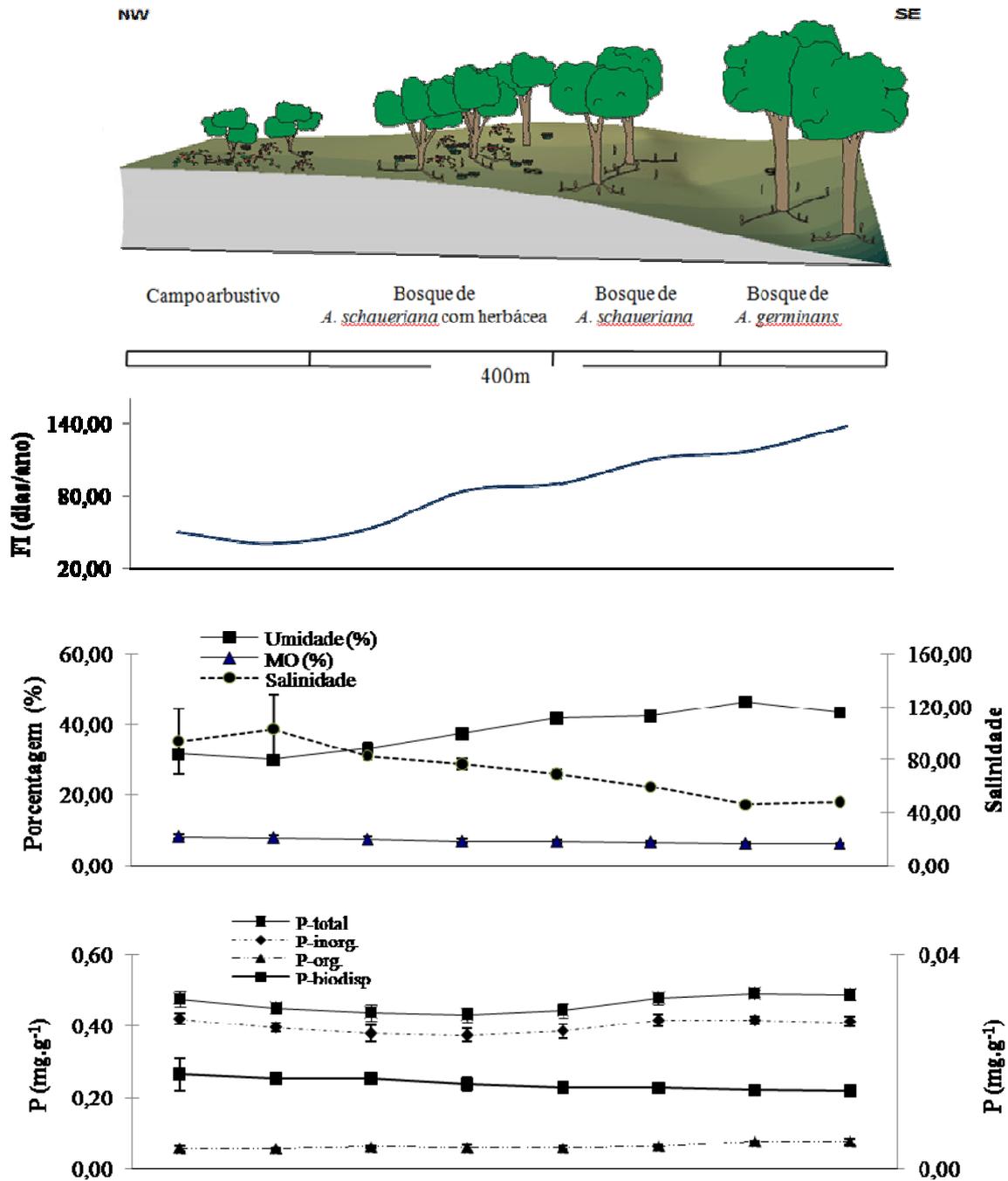


Figura 33 - Variação média da umidade e matéria orgânica (%), salinidade, P-total, P-inorg, P-org e P-biodisp em mg.g^{-1} de peso seco nos sedimentos do Campo arbustivo bosque de *A. schaueriana* com herbácea, bosque de *A. schaueriana*, e bosque de *A. germinans* em T2

5.3.2.2.2 Matéria Orgânica

Os teores de MO estão na faixa de 5,7 a 9% com médias de $(6,43 \pm 0,44)$ no bosque de *Avicennia* e de $(6,75 \pm 0,44)$ no bosque de *A.schaueriana*. Com a elevação topográfica esses valores aumentam para $(7,31 \pm 0,75)$ no bosque de *A.schaueriana* com herbácea e de $(8,03 \pm 0,62)$ no Campo arbustivo. Ao longo do perfil de inundação, esse parâmetro apresenta uma significativa correlação negativa com a FI ($r = 0,70$, $p < 0,05$, $n = 40$) e fraca correlação com a umidade ($r = - 0,65$; $p < 0,05$; $n = 40$). Na zona de bosque, o grau dessas correlações são ainda menores, com a inundação ($r = - 0,56$; $p < 0,05$; $n=30$), e da mesma forma com a umidade ($r = - 0,36$, $p < 0,05$; $n=30$).

5.3.2.2.3 Salinidade

A salinidade apresenta grande variação de 44 a 150 O menor teor médio encontra-se no bosque de *A. germinans* $(47,30 \pm 1,69)$. Este teor aumenta com a elevação topográfica, nas zonas menos inundadas. No bosque de *A. schaueriana* encontra-se uma média de $68,17 \pm 9,56$, que aumenta para $76,18 \pm 7,56$ no bosque de *A. schaueriana* com estrato herbáceo. No campo arbustivo, a salinidade apresenta uma grande variação de 70 a 152; com maior teor na camada 0-5cm, com média de $98,62 \pm 24,5$. No perfil vertical, foi observado um padrão uniforme de decréscimo com a profundidade em toda transecção.

Ao longo do perfil de inundação, apresenta uma relação inversa com a FI ($r = - 0,82$, $p < 0,05$; $n = 35$) e com a umidade ($r = - 0,80$, $p < 0,05$; $n = 35$). Porém um comportamento positivo é observado com a MO ($r = 0,72$, $p < 0,05$; $n = 30$).

Na zona de bosque, continua a apresentar forte correlação negativa com a FI ($r = - 0,90$, $p < 0,05$, $n = 30$) e com a umidade ($r = - 0,70$; $p < 0,05$; $n=30$), porém com a MO mostra fraca, mais significativa correlação positiva ($r = 0,50$; $p < 0,05$; $n=30$).

5.3.2.2.4 Fósforo

As concentrações médias do P-total não apresentam um padrão uniforme com a elevação topográfica. No bosque de *A. germinans* é registrada a maior média ($0,49 \pm 0,01 \text{ mg.g}^{-1}$). Esse valor diminui em direção ao bosque de *A. schaueriana* ($0,46 \pm 0,02 \text{ mg.g}^{-1}$), e ao bosque de *A. schaueriana* com herbácea ($0,44 \pm 0,02 \text{ mg.g}^{-1}$). Entretanto, no campo arbustivo ocorre um aumento dessa concentração para $0,46 \pm 0,04 \text{ mg.g}^{-1}$. No perfil vertical, mostra nítida tendência de acréscimo com a profundidade.

Ao longo do perfil topográfico, apresenta fraca, mas significativas correlações positivas com a FI ($r = 0,47$, $p < 0,05$, $n = 40$) e com a umidade ($r = 0,35$, $p < 0,05$, $n = 40$). No entanto, com a salinidade, apresenta melhor correlação negativa ($r = -0,52$, $p < 0,05$; $n = 40$). Com a MO não apresenta nenhuma correlação.

Na zona dos bosques, o P-total apresenta melhor correlacionado com a FI ($r = 0,70$, $p < 0,05$, $n = 30$), e com a umidade ($r = 0,60$, $p < 0,05$, $n = 30$). Ainda nesta zona, se observa uma baixa, mas, significativa correlação negativa com a MO ($r = -0,40$; $p < 0,05$; $n = 30$). Com a salinidade, a tendência inversa permanece, porém com melhor valor da correlação ($r = -0,80$; $p < 0,05$; $n = 30$).

O fósforo inorgânico (P-inorg.) representa a fração mais significativa do P-total ao longo de toda transecção (85%) e mostram-se altamente correlacionáveis, ($r = 0,92$, $p < 0,01$, $n = 40$). As concentrações médias do P-inorg. são similares nos bosques de *A. germinans* e de *A. schaueriana* ($0,40 \pm 0,01 \text{ mg.g}^{-1}$), diminuindo no bosque de *A. schaueriana* com estrato herbáceo, ($0,38 \pm 0,02 \text{ mg.g}^{-1}$); e assim como o P-total, no Campo arbustivo apresenta um ligeiro acréscimo ($0,40 \pm 0,03 \text{ mg.g}^{-1}$). No perfil vertical a concentração aumenta.

O fósforo orgânico (P-org.) corresponde aproximadamente 12% do P-total e mostra um comportamento similar ao do P-total e do P-inorg.. O maior teor médio é encontrado no bosque de *A. germinans* ($0,07 \pm 0,01 \text{ mg.g}^{-1}$). No Campo arbustivo encontra-se o menor valor ($0,05 \pm 0,01 \text{ mg.g}^{-1}$). Nessa transecção, o P-org. apresenta uma significativa correlação positiva com P-total ($r = 0,70$; $p < 0,05$; $n = 35$).

O P-disp., representa aproximadamente 3% do P-total, e um suave decréscimo com a diminuição do gradiente topográfico. Nos bosques de *A. germinans* e *A. schaueriana* o valor médio é de $0,015 \pm 0,001 \text{ mg.g}^{-1}$ para ambos. No Campo arbustivo apresenta maior faixa de variação (0,014 a 0,021) e maior valor médio ($0,018 \pm 0,003 \text{ mg.g}^{-1}$). No bosque de *A. schaueriana* com estrato herbáceo, apresenta valor médio de $0,017 \pm 0,002 \text{ mg.g}^{-1}$.

5.3.2.2.5 Capacidade de troca catiônica (CTC)

A CTC aumenta com o teor de umidade nos sedimentos. O maior valor é encontrado no bosque de *A. germinans*, onde é registrada a maior média ($122 \pm 7,34 \text{ cmol/Kg}^{-1}$). Esses valores decrescem continuamente até o Campo arbustivo ($114 \pm 7 \text{ cmol.Kg}^{-1}$) (Tabela 24). Com os argilomeneral esmectita e a MO mostra uma fraca tendência negativa ($r = -0,56$, $p < 0,05$, $n = 20$) e ($r = -0,67$, $p < 0,05$, $n = 20$) respectivamente. Porém com a salinidade apresenta forte correlação negativa ($r = -0,79$, $p < 0,05$, $n = 20\dots$). Com a umidade, e o P-biodisp. e a caulinita apresenta discretas mas significativas correlações positivas ($r = 0,53$; $p < 0,05$; $n = 20$); ($r = -0,58$; $p < 0,05$; $n = 20$) e ($r = 0,73$; $p < 0,05$; $n = 20$) respectivamente (Figura 34).

Na zona de bosque a CTC apresenta comportamento similar ao apresentado em toda transecção com a esmectita e a MO. As correlações tornam-se mais forte com o P-total ($r = 0,73$; $p < 0,05$; $n = 20$); P-org. ($r = 0,81$; $p < 0,05$; $n = 20$). Com o P-biodisponível não apresenta correlação.

Tabela 24 – Valores médios da capacidade de troca catiônica (CTC) Campo arbustivo, bosque de *A. schaueriana* com herbácea, bosque de *A. schaueriana*, bosque de *A. germinans* T2.

Sítio	FI (dias/ano)	CTC (cmol.Kg ⁻¹)	Umidade (%)	Mat.Org. (%)	Salinidade	P-total (mg.g ⁻¹)	P-org. (mg.g ⁻¹)	P-biodisp. (mg.g ⁻¹)
Campo arbustivo	53							
<i>A.schaueriana</i> arbustivas com herbácea		111,87 ± 9 (100-124)	33,85 ± 3,4 (30-38)	7,57 ± 0,83 (6,64-8)	82,77 ± 2,85 (79,3-87)	0,48 ± 0,02 (0,44-0,50)	0,06 ± 0,01 (0,05-0,07)	0,018 ± 0,00 (0,015-0,020)
Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	84							
<i>A. schaueriana</i> com herbácea		112,62 ± 4,2 (107-118)	37,97 ± 2,2 (34,00-39,56)	6,9 ± 0,77 (6-7,92)	69,58 ± 3,52 (67,15-75,7)	0,43 ± 0,02 (0,40-0,46)	0,06 ± 0,01 (0,045-0,065)	0,016 ± 0,00 (0,015-0,017)
Bosque de <i>A. schaueriana</i> <i>A. schaueriana</i>	111							
		116,71 ± 3,88 (111-120)	43,45 ± 2,15 (41,3-46,56)	6,9 ± 0,13 (6,72-7)	59,50 ± 0,84 (45-49)	0,48 ± 0,02 (0,46-0,50)	0,06 ± 0,00 (0,057-0,065)	0,015 ± 0,00 (0,014-0,016)
Bosque de <i>A. germinans</i> <i>A. germinans</i>	138							
		121 ± 7,34 (111-130)	43,51 ± 1,06 (42,32-45)	6,52 ± 0,46 (5,96-7,14)	48,13 ± 1,24 (47-49,9)	0,49 ± 0,02 (0,46-0,50)	0,08 ± 0,01 (0,066-0,088)	0,015 ± 0,00 (0,014-0,015)

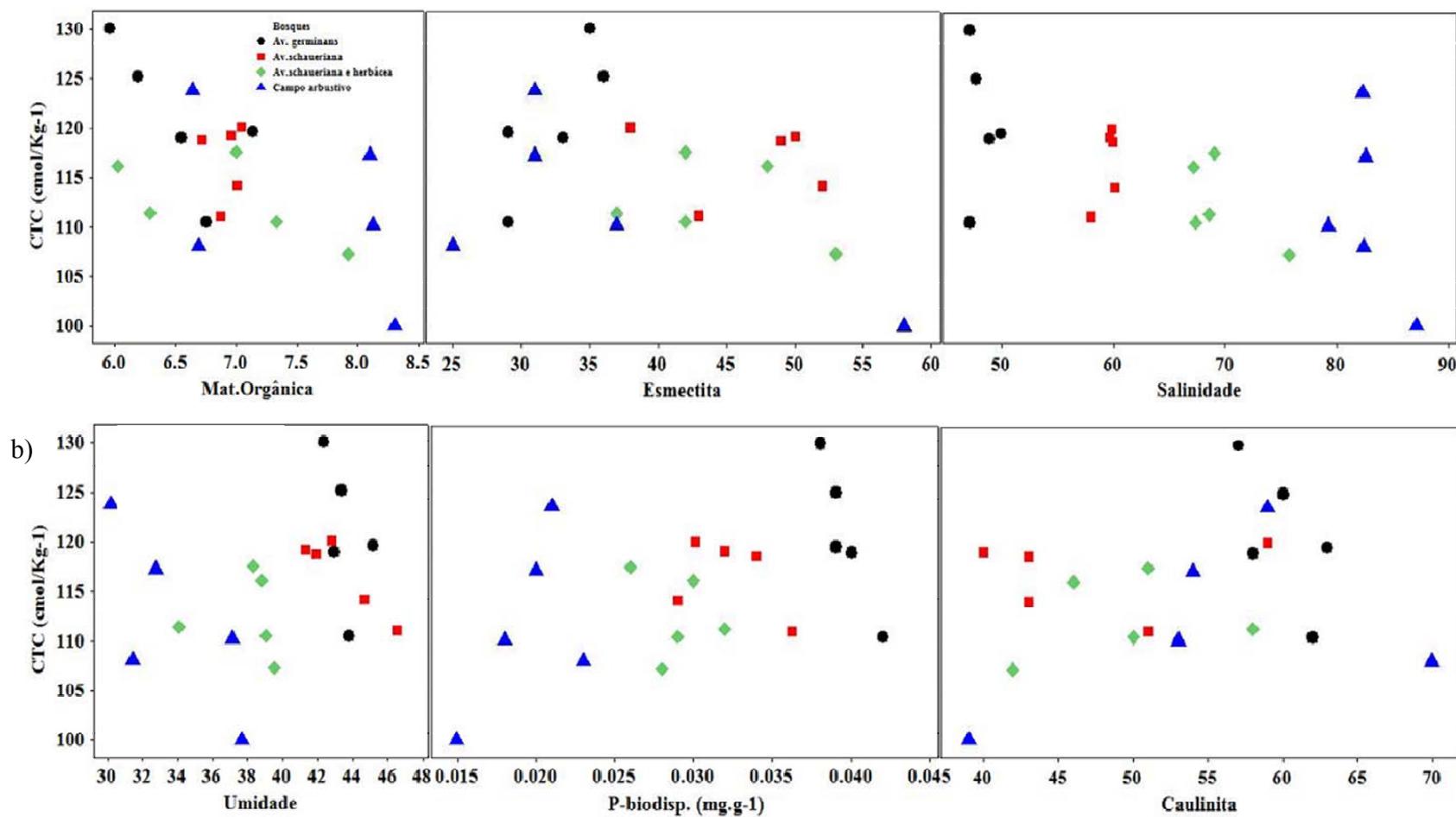


Figura 34 - Variação da CTC nos sedimentos do manguezal de Bragança T2: a) matéria orgânica, esmeclita e salinidade; b) umidade, Fósforo biodisponível e caulinita.

5.3.2.3 Vegetação

5.3.2.3.1 Parâmetros fitossociológicos

a) Campo arbustivo

No campo arbustivo os parâmetros fitossociológicos mostraram dominância absoluta (DoA) de *S. portulacastrum* (66), seguido por *A. schaueriana* (42) e (0,55) para o *S. virginicus*. A espécie de *S. portulacastrum* mostra o maior valor de importância VI (76), seguidos por *A. schaueriana* com (67) e *S. virginicus* (1) (Tabela 25). Os indivíduos amostrados de *A. schaueriana* apresentaram altura média de $1,29 \pm 0,14$ m e DAP médio de $3,73 \pm 0,4$ cm

Tabela 25 - Valores da proporção do terreno ocupado pela vegetação (cobertura); número de quadrados amostrados; dominância absoluta (DoA); dominância relativa (DoR); frequência absoluta (FA); frequência relativa (FR) e valor de importância (VI), n = 100.

Espécies	Cobertura	Quadrados	DoA	DoR	FA	FR	VI
<i>A. schaueriana</i> arbustiva	4245	100	42,45	31,02	1,00	36,23	67
<i>S. portulacastrum</i>	6585	77	65,85	48,12	0,77	27,90	76
<i>S. virginicus</i>	55	3	0,55	0,40	0,03	1,09	1
Detritus	325	24	3,25	2,37	0,24	8,70	11
Área livre	2475	72	24,75	18,09	0,72	26,09	44
Total				100		100	

Tabela 26 - Valores médios dos parâmetros estruturais da Transecção 2.

Bosque	FI (dias/ano) (n = 6)	Nº de Indivíduos	DAP (cm)	Altura (m)	Densidade (ind/ha ⁻¹)	Densidade relativa	Frequência relativa	Área Basal (m ² .ha ⁻¹)	Volume (cm ³)	Valor de Importância
<i>Avicennia</i>	69 ±17 (53-84)				575					
<i>A.scheueriana</i> com herbácea		23	8,72 ±4,58 (3,18-19,11)	2,60 ±0,40 (1,75-3,25)		100	100	4,34	4927	204
Total		23				100	100	4,34	4927	
<i>Avicennia</i>	100 ±10,7 (90-111)				575					
<i>A.scheueriana</i>		23	15,32 ± 5,54 (7,96-28,66)	4,50 ±1,76 (2,25-7,25)		100	100	11,94	23827	212
Total		23				100	100	11,94	23827	
<i>Avicennia</i>	133 ±9,26 (117-138)				975					
<i>A.germinans</i>		28	23,57 ±8,53 (12,40-49,20)	10,00 ±1,62 (5,00-12,35)		72	40	35,10	133401	147
<i>L. racemosa</i>		10	14,53 ±6,50 (7,96-25,48)	7,45 ±1,97 (5,15-10,28)		26	40	4,9	15289	71
<i>R. mangle</i>		1	7,00	6,20		2	20	0,1	239	23
Total		39				100	100	40,09	148928	

b) Bosque de *A. schaueriana* com estrato herbáceo

No estrato arbóreo foram mensurados 23 indivíduos da espécie de *A. schaueriana* com densidade igual a 100%. As árvores apresentaram altura média de $7,8 \pm 1,5$ m e DAP médio de $14,10 \pm 4,54$ cm e área basal de $4,34 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$. (Tabela 26).

Neste bosque, no estrato herbáceo, o *S. virginicus* foi dominante, com DoA (35) e maior VI (44), enquanto o *S. portulacastrum* apresenta forte diminuição em sua dominância (6). A espécie *B. maritima*, apresenta menor DoR (4) e menor VI (9). A cobertura da espécie de *A. schaueriana* domina com DoA (59) (Tabela 27).

Tabela 27 - Valores da proporção do terreno ocupado pela vegetação (cobertura); número de quadrados amostrados; Dominância absoluta (DoA); Dominância relativa (DoR); Frequência absoluta (FA); Frequência relativa (FR) e Índice de valor de importância (VI), n = 200.

Espécies	Cobertura	Quadrados	DoA	DoR	FA	FR	IVI
<i>Avicennia schaueriana</i>	5880	100	59	40	1,00	21	60
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	605	60	6	4	0,60	13	17
<i>Sporobolus virginicus</i>	3455	100	35	23	1,00	21	44
<i>Batis maritima</i>	655	20	7	4	0,20	4	9
Detritus	1260	100	13	8	1,00	21	30
Área livre	3010	100	30	20	1,00	21	41
Total				100		100	

c) Bosque de *A. schaueriana*

Este sítio é representado por um bosque monoespecífico com densidade a 100% de *A. schaueriana*, com médias de altura de $4,42 \pm 1,76$ e DAP de $15,32 \pm 5,54$, a área basal é de $11,94 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$. (Tabela 26). O estrato herbáceo apresenta baixa cobertura vegetal, com a presença de *S. portulacastrum* e *S. virginicus*.

d) Bosque de *A. germinans*

Neste bosque, a *A. germinans* é a espécie com o maior valor DoR (72%) e VI (147), seguidas por *L. racemosa* com (25,6%) e (71) e *R. mangle* com 2,6% e 23%, ambas colonizando esse bosque (Tabela 26). A *A. germinans* apresenta área basal mais alta das espécies arbóreas de toda transeção ($35,10 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$), assim também como seu volume (133.401 cm^3); altura média ($10 \pm 1,6 \text{ m}$) e DAP ($23,57 \pm 8,53 \text{ cm}$). Os indivíduos de *L. racemosa* apresentam médias de altura ($7,45 \pm 1,9 \text{ m}$) e DAP ($14,53 \pm 6,5 \text{ cm}$). E para o único indivíduo de *R. mangle* foi estimado altura de 6,2 m e DAP de 7cm (Tabela 26).

5.3.2.3.2 Fósforo nas plantas

a. Vegetação herbácea

No campo arbustivo, o maior teor de fósforo nas folhas é encontrado no *S. portulacastrus* ($1,53 \pm 0,28 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$). Por outro lado, no bosque de *A. schaueriana* com estrato herbáceo, a *B. maritima* e *S. virginicus* apresentam maior concentração ($1,32 \pm 0,08 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) e ($1,30 \pm 0,04 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) respectivamente. Porém, foi no caule e nas raízes do *S. portulacastrus* e da *B. maritima* que se encontram as maiores concentrações de fósforo (Tabela 28).

Tabela 28 - Valores médios de P em $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ nas raízes, caule e folhas de *s. portulacastrum* e *Batis maritima* e nas folhas e raízes de *S. Virginicus*, n = 9.

Espécie	Campo arbustivo			Bosque <i>A. schaueriana</i> com herbácea		
	Folhas	Caule	Raízes	Folhas	Caule	Raízes
<i>S. portulacastrus</i>	$1,53 \pm 0,28$ (1,21-1,73)	$2,83 \pm 0,07$ (2,78-2,88)	$3,30 \pm 0,17$ (3,17-3,41)	$1,05 \pm 0,15$ (0,94-1,16)	$1,97 \pm 0,21$ (1,83-2,13)	$1,95 \pm 0,04$ (1,91-1,95)
<i>S. virginicus</i>	$1,05 \pm 0,10$ (0,97-1,12)	*	$1,10 \pm 0,09$ (1,03-1,16)	$1,30 \pm 0,042$ (1,28-1,30)	*	$1,08 \pm 0,08$ (1,03-1,15)
<i>Batis maritima</i>	*	*	*	$1,32 \pm 0,08$ (1,27-1,39)	$1,14 \pm 0,10$ (1,06 -1,21)	$2,16 \pm 0,05$ (2,13-2,21)

b. Vegetação arbórea

No campo arbustivo, a concentração de fósforo nas folhas de *A. schaueriana* foi de $1,81 \pm 0,04 \text{ mg.g}^{-1}$. Porém, na zona de bosque, houve uma significativa diminuição dessa concentração. O maior valor foi encontrado na floresta monoespecífica de *A. germinans*, com valor médio de $1,48 \pm 0,13 \text{ mg.g}^{-1}$ (Tabela 29). A Figura 35 mostra o comportamento dos valores médios do fósforo nas folhas, com a altura, e com o DAP das árvores ao longo do gradiente topográfico. A Figura 36 mostra o comportamento desses parâmetros na zona de bosque.

Tabela 29 - Valores médio de fósforo nas folhas (P-folhas) em mg.g^{-1} nas árvores de *A. schaueriana* e *A. germinans* em T2, n = 36.

Sítio	FI (dias/ano) (n = 6)	Número de Indivíduos	P-folhas (mg.g^{-1})	DAP (cm)	Altura (m)
Campo arbustivo <i>A. schaueriana</i> arbustiva	46 ± 5 (41-50)	6	1,74 ± 0,1 (1,32-1,38)	3,73 ± 0,4 (3,65-4,62)	1,29 ± 0,14 (0,8-1,75)
Bosque de <i>A. schaueriana</i> e herbácea <i>A. schaueriana</i>	69 ± 17 (53-87)	6	1,36 (1,32-1,38)	11,20 ± 5,34 (4,47-19,11)	2,67 ± 0,26 (2,35-3,10)
Bosque de <i>Avicennia</i> <i>schaueriana</i> <i>A. schaueriana</i>	100 ± 10,7 (90-111)	6	1,44 (1,38-1,48)	15,18 ± 3,83 (11,15-22,30)	4,84 ± 1,92 (2,5-7,23)
Bosque de <i>Avicennia</i> <i>germinans</i> <i>A. germinans</i>	133 ± 9,26 (117-138)	6	1,48 (1,33-1,52)	29,60 ± 7,78 (20,38-42,50)	10,13 ± 1,50 (7,5-12,10)

Ao longo de toda transecção, o DAP e a altura das árvores são bem correlacionáveis com o P-folhas, como mostram os valores das correlações entre P-folhas e DAP ($r = - 0,74$, $p < 0,01$, $n = 40$) e P-folhas e altura ($r = - 0,71$, $p < 0,01$, $n = 40$).

Na zona de bosque, as correlações são mais acentuadas, e a tendência entre DAP e altura das árvores com o P nas folhas é representada pela boa correlação positiva ($r = 0,80$, $p < 0,01$, $n = 30$), ($r = 0,83$, $p < 0,01$; $n = 30$) respectivamente. Com a umidade apresenta forte tendência positiva ($r = 0,87$ $p < 0,01$; $n=30$), e com a salinidade mostra uma significativa correlação negativa ($r = - 0,84$, $p < 0,01$; $n=30$).

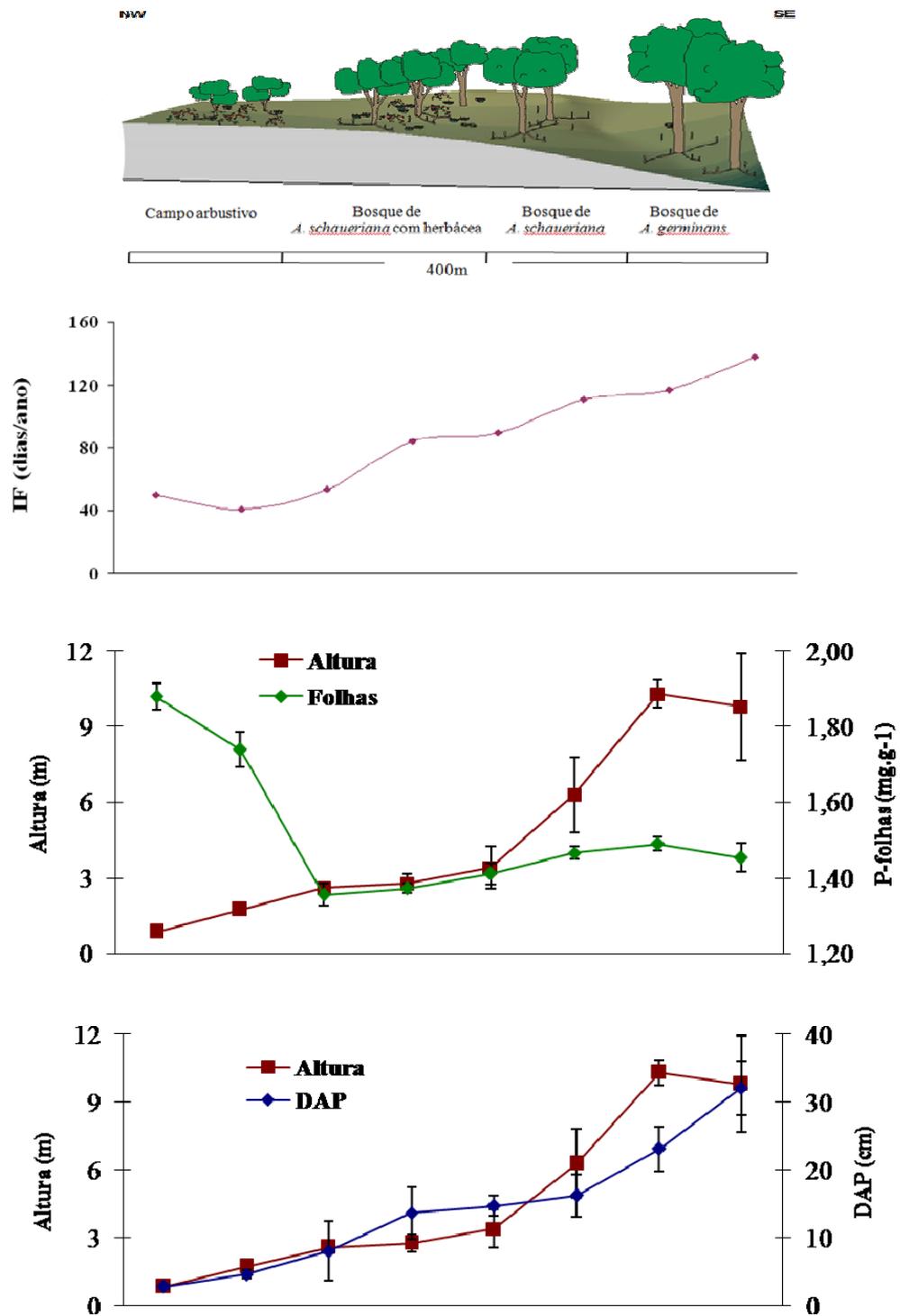


Figura 35 - Variação média das concentrações de P-folhas, altura das árvores e DAP de *A. schaueriana* e *A. germinans*. ao longo do perfil topográfico em T2.

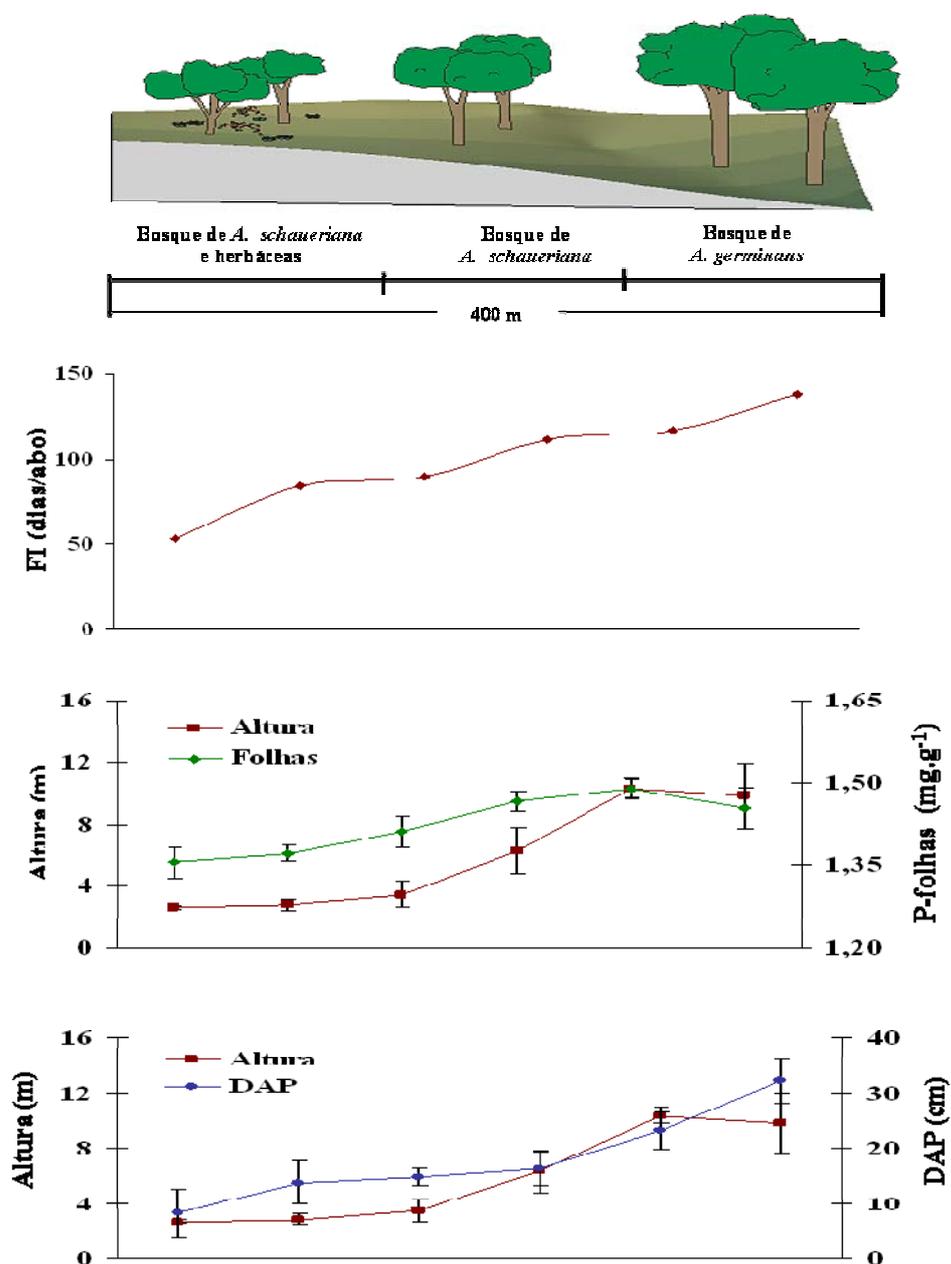


Figura 36 - Variação média das concentrações de P-folhas, altura das árvores e DAP de *A. schaueriana* e *A. germinans*, ao longo do perfil topográfico em T2.

5.3.2.4 Tratamento Estatístico

5.3.2.4.1 Análise de Variância (ANOVA)

O teste das médias (*Post Hoc* – teste de *Fisher*), das variáveis no compartimento do sedimento: umidade, salinidade, MO e P-total), entre os quatro sítios analisados (Campo arbustivo, Bosque de *A. schaueriana* e herbácea, Bosque de *A. schaueriana* e Bosque de *A. germinans*) indicaram que entre estes, as médias das variáveis umidade e P-total são diferentes.

Porém, o resultado do $p = 0,13$ ($p > 0,05$) para a variável MO entre os bosques de *A. schaueriana* e *A. germinans*, e da mesma forma, o valor de $p = 0,2$ ($p > 0,05$) para a salinidade, entre os bosques de *A. schaueriana* e de *A. schaueriana* com herbácea mostra que estas variáveis não apresentam diferenças entre esses bosques (Tabela 30 a Tabela 37).

Tabela 30 - Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste *F* (F) e valor-*p* para a umidade.

Fonte de Variação	G.L	SQ	MQ	<i>F</i>	<i>p</i>
Nº de populações	3	1281	60062	10438	0.00
Erro	36	207	426.9	74.19	
Total	39	1488	5.8		

Tabela 31 - Teste *Post Hoc* de Fischer mostrando os níveis descritivos do valor-*p* para a variável umidade (%).

Sítio	Campo arbustivo	Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	Bosque de <i>A. schaueriana</i>	Bosque de <i>A. germinans</i>
Valor médio (%)	30.92	35.91	42.64	45.03
Campo arbustivo		0.00	0.00	0.00
Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	0.00		0.00	0.00
Bosque de <i>A. schaueriana</i>	0.00	0.00		0.02
Bosque de <i>A. germinans</i>	0.00	0.00	0.02	

Tabela 32 - Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste *F* (*F*) e valor-*p* (*p*) para a Matéria orgânica.

Fonte de Variação	G.L	SQ	MQ	<i>F</i>	<i>p</i>
Nº de populações	3	14.71	4.9	14.53	0.00
Erro	36	12.15	0.34		
Total	39	26.86			

Tabela 33 - Teste *Post Hoc* de Fischer mostrando os níveis descritivos do valor-*p* para a variável Matéria orgânica (%).

Sítio	Campo arbustivo	Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	Bosque de <i>A. schaueriana</i>	Bosque de <i>A. germinans</i>
Valor médio (%)	8.02	7.31	6.75	6.35
Campo arbustivo		0.01	0.00	0.00
Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	0.01		0.03	0.00
Bosque de <i>A. schaueriana</i>	0.00	0.03		0.13
Bosque de <i>A. germinans</i>	0.00	0.00	0.13	

Tabela 34 Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste *F* (*F*) e valor-*p* (*p*) para a salinidade.

Fonte de Variação	G.L	SQ	MQ	<i>F</i>	<i>p</i>
Nº de populações	3	13500	4500	23.93	0.00
Erro	36	6769	188		
Total	39	20269			

Tabela 35- Teste *Post Hoc* de Fischer mostrando os níveis descritivos do valor-*p* para a variável salinidade.

Sítio	Campo arbustivo	Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	Bosque de <i>A. schaueriana</i>	Bosque de <i>A. germinans</i>
Valor médio	98.63	76.18	68.17	47.00
Campo arbustivo		0.00	0.00	0.00
Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	0.00		0.20	0.00
Bosque de <i>A. schaueriana</i>	0.00	0.20		0.00
Bosque de <i>A. germinans</i>	0.00	0.00	0.00	

Tabela 36 - Análise de variância, mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste *F* (F) e valor-*p* (*p*) para o P-total.

Fonte de Variação	G.L.	SQ	MQ	<i>F</i>	<i>p</i>
Nº de populações	3	0.015	0.0048	11.68	0.00
Erro	36	0.015	0.0004		
Total	39	0.029			

O resultado do teste indica que houve significância estatística (p-valor <0.05*), em alguns pares. Deste modo, observa-se que o P-total apresentou resultado significativo em todas as combinações possíveis no *post hoc*.

Tabela 37 - Teste *Post Hoc* de Fischer mostrando os níveis descritivos do *p-value* para a variável P-total (mg.g⁻¹).

Sítio	Campo arbustivo	Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	Bosque de <i>A. schaueriana</i>	Bosque de <i>A. germinans</i>
Valor médio (mg.g ⁻¹)	0.46	0.43	0.46	0.49
Campo arbustivo		0.00	0.56	0.00
Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	0.00		0.00	0.00
Bosque de <i>A. schaueriana</i>	0.56	0.00		0.00
Bosque de <i>A. germinans</i>	0.00	0.00	0.00	

5.3.2.4.2 Análise discriminante

As Tabelas 38 a 42 mostram os resultados da aplicação da Análise Discriminante para a caracterização dos três bosques para a transecção 2. A Tabela 38 apresenta as médias das variáveis utilizadas. A matriz de classificação (Tabela 40) mostra um total de acertos de 93%, e ressalta que as variáveis: umidades, matéria orgânica, salinidade e P-total no compartimento do sedimento estão alocadas corretamente nos quatro distintos sitios (Campo arbustivo, bosque de *A. schaueriana* e herbácea, bosque de *A. schaueriana* e bosque de *A. germinans*).

Tabela 38 - Médias dos bosques ao longo de T2, n = 40.

Valores médios	Umidade (%)	Mat.Org (%)	Salinidade	P-Total (mg.g ⁻¹)
Campo arbustivo	30.92	8.02	98.63	0.46
Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	35.91	7.31	76.18	0.43
Bosque de <i>A. schaueriana</i>	42.64	6.75	68.17	0.46
Bosque de <i>A. germinans</i>	45.03	6.35	47.00	0.49

Tabela 39 - Distância de Mahalanobis entre os sitios em T2.

	Campo arbustivo	Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	Bosque de <i>A. schaueriana</i>	Bosque de <i>A. germinans</i>
Campo arbustivo	0	16	42	65
Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	16	0	25	47
Bosque de <i>A. schaueriana</i>	42	25	0	6
Bosque de <i>A. germinans</i>	65	47	6	0

Tabela 40 - Matriz de classificação das variáveis analisadas.

	Campo arbustivo	Bosque de <i>A. Schaueriana</i> com herbácea	Bosque de <i>A. schaueriana</i>	Bosque de <i>A. germinans</i>	Porcentagem de acerto
Sítios	p = 0,25	p = 0,25	p = 0,25	p = 0,25	
Campo arbustivo	10	0	0	0	100
Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	1	8	1	0	80
Bosque de <i>A. schaueriana</i>	0	0	9	1	90
Bosque de <i>A. germinans</i>	0	0	0	10	100
Total	11	8	10	11	92.5

Tabela 41 - Funções lineares discriminantes para os sítios amostrados.

	Campo arbustivo	Bosque de <i>A. schaueriana</i> com herbácea	Bosque de <i>A. schaueriana</i>	Bosque de <i>A. germinans</i>
Intercepto	-1160.31	-1064.18	-1244.44	-1315.78
Umidade	16.22	16.74	19.11	19.72
Mat.Orgânica	-17.07	-17.81	-23.81	-25.43
Salinidade	4.31	4.08	4.45	4.49
P-total	3299.42	3103.07	3333.37	3445.3

As funções discriminantes podem ser representadas como:

$$\text{Campo arbustivo} = -1160,31 + 16,22 * \text{Umidade} + 4,31 * \text{Salinidade} - 17,07 * \text{MO} + 3299,42 * \text{P-total} \quad (33)$$

$$\text{Bosque de } A. \text{ schaueriana e herbácea: } -1064,18 + 16,74 * \text{Umidade} + 4,08 * \text{Sal} - 17,81 * \text{MO} + 3103,07 * \text{P-tot} \quad (34)$$

$$\text{Bosque de } A. \text{ schaueriana: } -1244,44 + 19,11 * \text{Umidade} + 4,45 * \text{Sal} - 23,81 * \text{MO} + 3333,37 * \text{P-tot} \quad (35)$$

$$\text{Bosque de } A. \text{ germinans: } -1315,78 + 19,82 * \text{Umidade} + 4,49 * \text{Sal} - 25,43 * \text{MO} + 3445,3 * \text{P-tot} \quad (36)$$

Com precisão de 92,5 % de classificação correta (Tabela 40), na discriminação das quatro populações consideradas, pode-se atribuir, que a utilização das quatro funções discriminantes acima, apresentam alta precisão na classificação e alocação das variáveis, umidade, MO, salinidade e P-total no Campo arbustivo, bosque de *A. schaueriana e herbácea*, bosque de *A. schaueriana* e bosque de *A. germinans*.

A Figura 37 mostra os escores para as variáveis calculadas no espaço discriminante, em que se observar que o uso da análise discriminante permite mostrar como os sítios acima mencionados apresentam características próprias, ou seja, podem ser separados entre si.

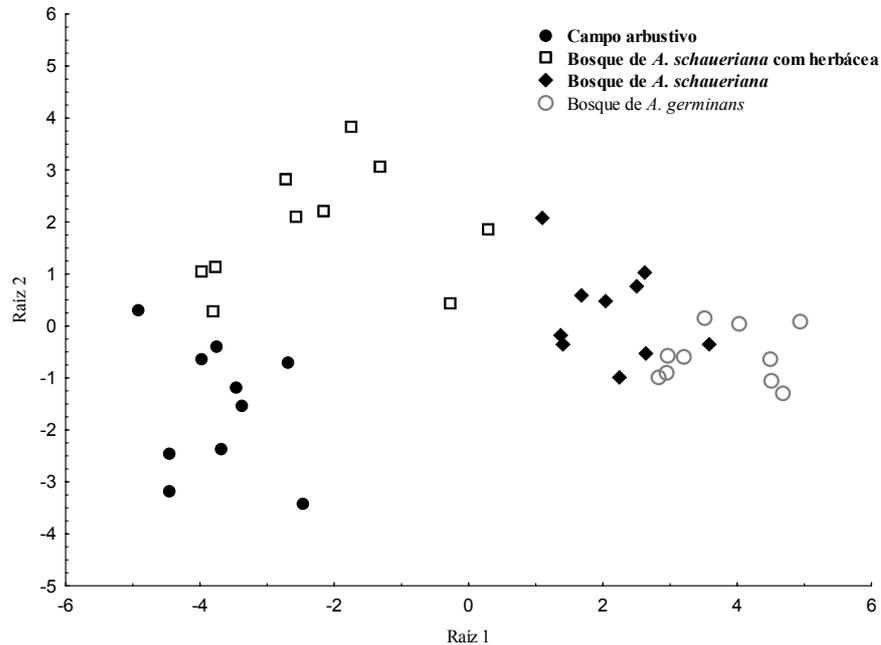


Figura 37 - Dispersão do campo arbustivo, bosques de *A. schaueriana* e herbácea, *A. schaueriana* e *A. germinans* no espaço discriminante.

Utiliza-se a equação (29) para avaliar a contribuição relativa para cada variável na separação dos sitios analisados. Os resultados, apresentados na Tabela 42 comprovam a eficiência da separação dos bosques, e mostra com nível de significância de $p < 0,00$, que as variáveis salinidade e P-total são as mais importantes na discriminação do Campo arbustivo do bosque de *A. schaueriana*. E nos demais sítios (bosque de *A. schaueriana* e herbácea, bosque de *A. schaueriana* e bosque de *A. germinans*), a umidade seguida da MO e P-total têm maior relevância na discriminação entre estes.

Tabela 42 - Contribuição relativa das variáveis (%) das variáveis Umidade, Salinidade MO e P-total na separação do Campo arbustivo, Bosque de *A. schaueriana* e herbácea, Bosque de *A. schaueriana* e Bosque de *A. germinans*.

	CR1(12) ¹	CR1(13) ²	CR1(14) ³	CR1(23) ⁴	CR1(24) ⁵	CR1(34) ⁶
Umidade	16	80	77	65	58	27
Mat.Orgânica	3	20	22	14	15	11
Salinidade	33	10	14	12	25	15
P-total	38	0	6	24	42	66

¹ Campo arbustivo – *A. schaueriana*; ² Campo arbustivo – *A. germinans*;

³ Campo arbustivo – *A. germinans*; ⁴ *A. schaueriana* com herbácea – *A. schaueriana*;

⁵ *A. schaueriana* com herbácea – *A. germinans*; ⁶ *A. schaueriana* – *A. germinans*.

5.3.3 Platô herbáceo

5.3.3.1 Topografia e frequência de inundação

Uma feição topográfica inundada somente nas marés de sizigia é evidenciada. Nesse platô se localiza uma zona colonizada por indivíduos arbustivos de *A. schaueriana* e por estrato herbáceo colonizado por *S. portulacastrum* e *S. virginicus* com ocorrência de *B. marítima*. Apresenta valores de FI, variando de 40 a 46 dias/ano (Figura 38).

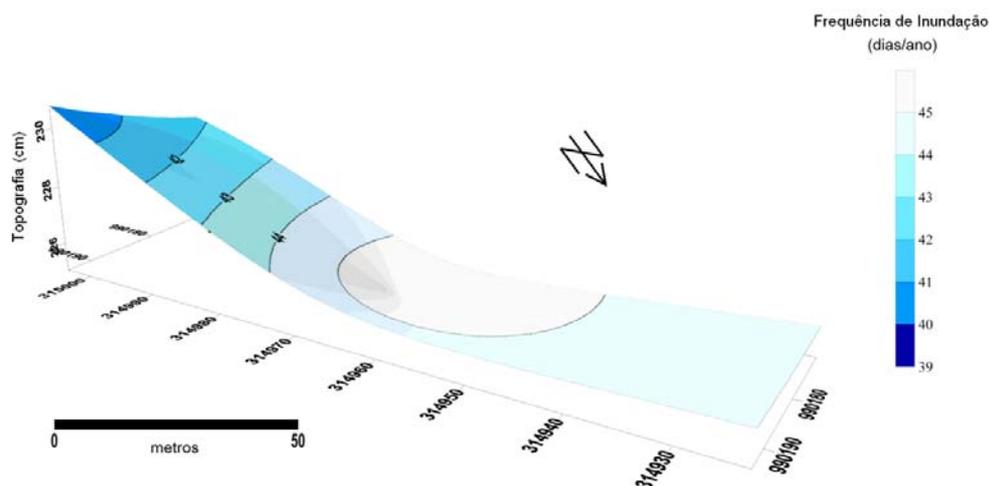


Figura 38 - Frequência de inundação da Platô herbáceo.

5.3.3.2 Granulometria e argilomineral

Os sedimentos são compostos principalmente por grandes concentrações de areia (50 %) e argila (40 %), e baixas concentrações de silte (10 %) (Figura 39).

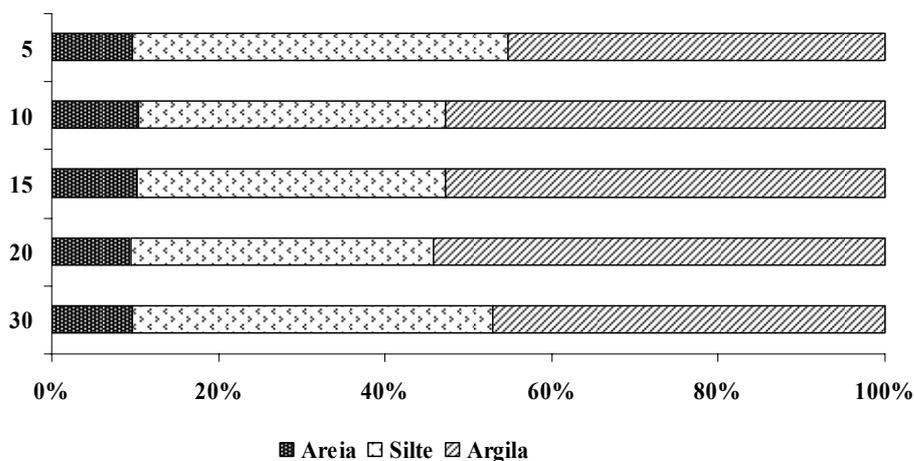


Figura 39 - Variação granulométrica no Platô herbáceo.

Apresentou alto percentual de SiO_2 (75 %), com baixos teores de Al_2O_3 (7 %) e Fe_2O_3 (3 %). Mostrou também baixas concentrações de MnO (0,02 %), MgO (0,78 %) e CaO (0,07 %), Na_2O (1,84 %), K_2O (0,87 %) e TiO_2 (0,76 %). Para o P_2O_5 foi registrado o mais baixo valor (0,08 %)

O percentual da caulinita está na faixa de 50 % e a esmectita de 47 %. A ilita mostra concentração de 4 % e não apresentou nenhum padrão definido. Figura (40)

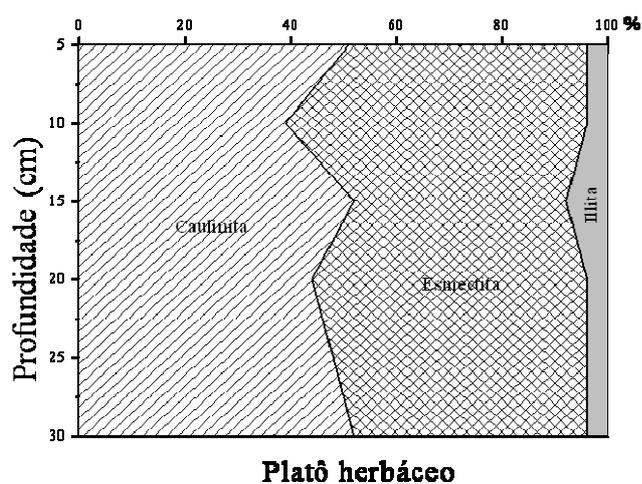


Figura 40 - Comportamento dos argilominerais, caulinita, esmectita e ilita em % nos sedimentos de mangue de Bragança; no perfil vertical (0-30 cm), do Platô herbáceo.

5.3.3.3 Umidade, matéria orgânica e salinidade

A média da umidade foi de $25 \pm 5,75$ enquanto a MO apresentou valor médio de $3 \pm 0,5$. A salinidade mostrou uma variação de 67 a 145, com média de $111 \pm 20,2$. (Tabela 43). As maiores concentrações foram observadas na parte central da zona amostrada, onde a topografia é mais rebaixada. Exceto para a salinidade, com maiores concentrações nas posições extremas. Com a profundidade não houve variação significativa (Figura 41)

Os valores médio do fósforo apresentam pouca variação e baixas concentrações de P-total ($0,22 \pm 0,00 \text{ mg.g}^{-1}$), P-inorg ($0,19 \pm 0,00 \text{ mg.g}^{-1}$), P-org ($0,03 \pm 0,00 \text{ mg.g}^{-1}$) e P-disp ($0,03 \pm 0,04 \text{ mg.g}^{-1}$) (Tabela 43). O P-inorg. representa 85 % do P-total, enquanto o P-org e P-disp. representaram 1,4 %. Os teores mais elevados foram encontrados na parte central da área amostrada. No perfil vertical mantiveram padrão similar, sem variação significativa (Figura 41).

Tabela 43 - Valores médios da frequência de inundação (FI) em dias/ano, fósforo total (PT), fósforo inorgânico (PI), fósforo orgânico (PO), fósforo disponível (PD) em peso seco. Umidade e matéria orgânica (%) e da salinidade no Platô herbáceo, n = 15.

Pontos amostrados	FI (dias/ano) (n = 3)	Umidade (%)	MO (%)	Salinidade	P-total (mg.g^{-1})	P-inorg (mg.g^{-1})	P-org (mg.g^{-1})	P-biodisp (mg.g^{-1})
1	44	$25 \pm 1,12$ (24,5-27,4)	$3,5 \pm 0,12$ (3,4-3,7)	$101 \pm 20,4$ (94-142)	$0,3 \pm 0,00$ (0,2-0,42)	$0,27 \pm 0,01$ (0,17-0,38)	$0,04 \pm 0,49$ (0,02-0,06)	$0,01 \pm 0,49$ (0,002-0,018)
2	46	$31 \pm 1,18$ (24,7-35)	$4 \pm 0,19$ (3,4-4,5)	90 ± 25 (82-98)	$0,42 \pm 0,08$ (0,35-0,55)	$0,4 \pm 0,09$ (0,3-0,55)	$0,03 \pm 0,20$ (0,01-0,06)	$0,005 \pm 0,00$ (0,007-0,0065)
3	40	$25 \pm 5,7$ (24-27)	$3 \pm 0,5$ (2,3-3,7)	115 ± 31 (98-145)	$0,15 \pm 0,09$ (0,1-0,32)	$0,10 \pm 0,015$ (0,09-0,13)	$0,06 \pm 0,04$ (0,01-0,19)	$0,003 \pm 0,001$ (0,002-0,005)

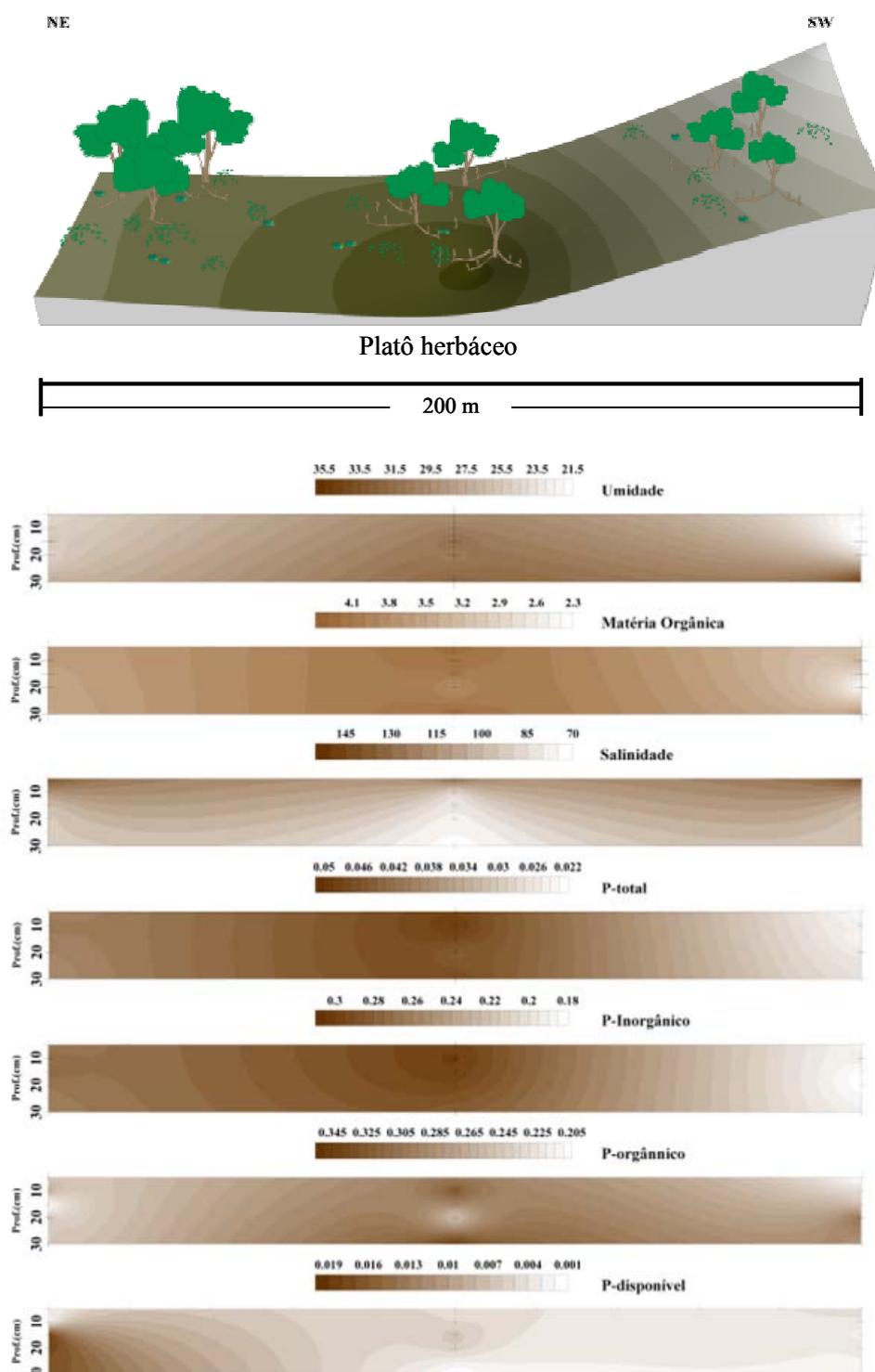


Figura 41- Variação no perfil vertical e horizontal da Umidade (%), MO(%), salinidade, P-total, P-inorg., P-org., e P-disp em mg.g^{-1} de peso seco, no perfil vertical e horizontal nos sedimentos do Platô herbáceo.

5.3.3.4 Capacidade de troca catiônica (CTC)

O valor médio encontrado para a CTC foi de 60 cmol/Kg⁻¹.

5.3.3.5 Vegetação

5.3.3.5.1 Parâmetros fitossociológicos

No estrato herbáceo o *S. portulacastrum* domina com DoA (20) e VI (50). Enquanto o *S. virginicus* apresenta DoA (4), VI (14) (Tabela 44). A *B. marítima* ocorre esporadicamente e não compôs as parcelas amostradas. Os indivíduos arbustivo de *A. schaueriana* apresenta DoA (10) e médias de altura ($1 \pm 0,14$ m) e DAP ($3,73 \pm 0,4$ cm).

Tabela 44- Parâmetros fitossociológicos analisados. Cobertura, número de quadrados amostrados, dominância absoluta (DoA), Dominância relativa (DoR), frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR) e valor de importância (VI), n = 200.

Espécies	Cobertura	Quadrados	DoA	DoR	FA	FR	IVI
<i>A. schaueriana</i>	2085	120	10,43	10,28	0,60	18,18	28,46
<i>S. portulacastrum</i>	4094	200	20,47	20,18	1,00	30,30	50,48
<i>S. virginicus</i>	880	60	4,40	4,34	0,30	9,09	13,43
Detritus	90	80	0,45	0,44	0,40	12,12	12,56
Área livre	13140	200	65,70	64,76	1,00	30,30	95,06
Total				100		100	

5.3.3.5.2 Fósforo nas plantas

a) Vegetação herbácea

A maior concentração de fósforo nas folhas é observada na espécie de *S. portulacastrum* ($1,41 \pm 0,03$ mg. g⁻¹). Nas folhas de *S. virginicus* encontra-se concentração de ($1,25 \pm 0,05$ mg.g⁻¹) e a *B. marítima* de ($0,93 \pm 0,11$ mg.g⁻¹). Entretanto é na raiz da *B. marítima* de que se observa as maiores concentrações de fósforo ($5,17 \pm 0,18$ mg.g⁻¹), enquanto: *S. portulacastrum* esse valor é mais baixo ($2,85 \pm 3,15$ mg. g⁻¹) e (Tabela 45).

Tabela 45 - Valores médios de P em mg.g⁻¹ nas raízes, caule e folhas de *S. portulacastrum* e *Batis maritima* e nas folhas e raízes de *S. Virginicus*, n = 9.

Espécie	Folhas	Platô herbáceo	
		Caule	Raízes
<i>S. portulacastrum</i>	1,41 ±0,03 (1,38-1,41)	2,85 ±0,13 (2,70-2,97)	3 ±0,15 (2,85-3,15)
<i>S. virginicus</i>	1,25 ±0,05 (1,19-1,30)	*	1,15 ±0,02 (1,13-1,17)
<i>Batis maritima</i>	0,93 ±0,11 (0,81-1,02)	1,64 ±0,02 (1,62-1,66)	5,17 ±0,18 (4,97-5,17)

b) Vegetação arbustiva

A média da concentração de fósforo nas folhas de *A. schaueriana* foi de 1,67 ± 0,17 mg. g⁻¹), com os mais altos teores na área com maior FI (46 dias/ano). Onde foram registradas também as maiores médias para a altura (1 ± 3,15 m) e DAP (2,55 ± 0,49 cm) (Tabela 46).

Tabela 46 - Valores médios da concentração de P-folhas com parâmetros estruturais da vegetação.

Espécie	Frequência de Inundação (n = 3)	Número de Indivíduos	P - folhas (mg.g ⁻¹) (n = 9)	DAP (cm) (n = 9)	Altura (m) (n = 9)
<i>A. schaueriana</i>	46	3	1,88 ±0,04 (1,84-1,93)	2,55 ±0,49 (1,9-3,18)	1,01 ±0,12 (0,9-1,15)
Total		3			
<i>A. schaueriana</i>	44	3	1,57 ±0,05 (1,52-1,63)	2,12 ±0,48 (1,6-2,55)	0,76 ±0,05 (0,7-0,8)
Total		3			
<i>A. schaueriana</i>	40	3	1,54 ±0,05 (1,48-1,59)	2,33 ±0,66 (1,6-1,87)	0,81 ±0,20 (0,6-0,85)
Total		3			

5.3.4 AVALIAÇÃO NO PERFIL TOPOGRÁFICO

:

Ao longo do gradiente topográfico, a FI decresce de $136 \pm 10,4$ dias/ano, no bosque de *Rhizophora* para $40 \pm 10,4$ dias/ano no Platô herbáceo, enquanto a salinidade aumenta de $33,41 \pm 1,5$ para 115 ± 31 . Esse resultado, reflete o comportamento inverso desses parâmetros, ao longo da planície, como também observado, em cada sitio amostrado no perfil de inundação.

Da mesma forma, a tendência da umidade e salinidade com a inundação da maré é similar a observada em cada sitio amostrado ao longo de um perfil de inundação (T1 e T2), enquanto a MO numa escala espacial reflete maior taxa de decomposição na parte frequentemente inundada, com maior estrutura arbórea e maior suprimento de nutrientes (Figura 42).

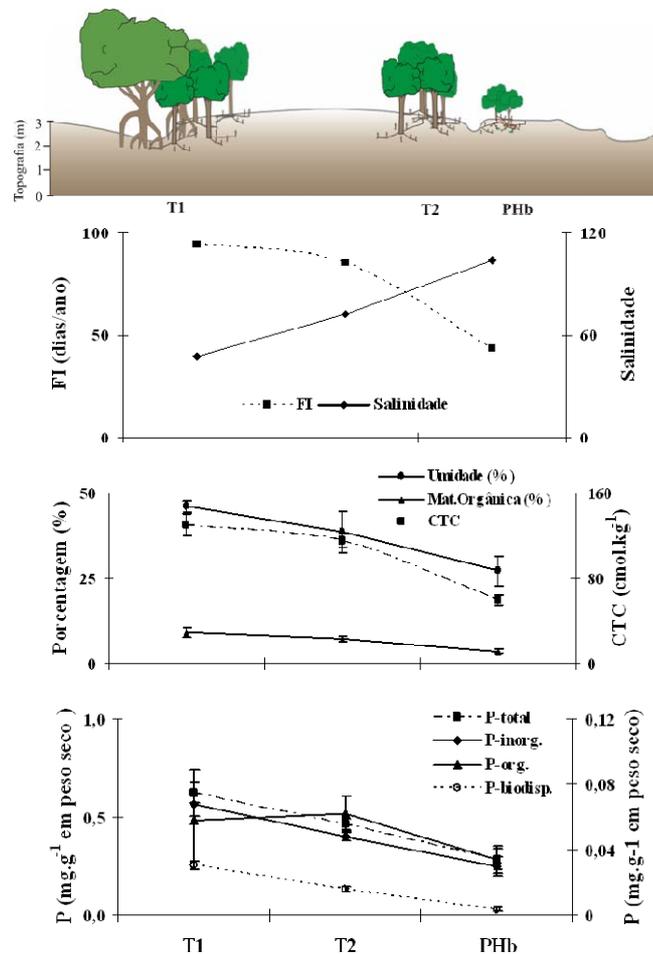


Figura 42- Variação no perfil vertical e horizontal da umidade (%), MO(%), salinidade, P-total, P-inorg., P-org., e P-disp em mg.g^{-1} de peso seco, no perfil vertical e horizontal nos sedimentos ao longo do perfil topográfico.

5.3.4.1 Tratamento Estatístico

5.3.4.1.1 Análise de variância (ANOVA)

As Tabelas (47 a 54) mostram que o resultados do teste estatístico, indicam significância estatística (p -valor <0.05), em alguns pares. Deste modo, observa-se que a umidade, matéria orgânica, salinidade e P-total apresentaram resultado significativo em todas as combinações possíveis no *post hoc*.

Tabela 47 - Análise de variância , mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste F (F) e valor- p (p) para a umidade,

Fonte de Variação	G.L	SQ	MQ	F	p
Nº de populações	2	4038.8	2019	63.131	0
Erro	92	2942.9	32		
Total	94	6981.7			

Tabela 48 - Teste *Post Hoc* de Fischer mostrando os níveis descritivos do p -value para a variável umidade (mg.g^{-1}).

Grupo	Transecção 1	Transecção 2	Platô herbáceo
	46.08	38.63	27.13
Transecção 1		0.00	0.00
Transecção 2	0.00		0
Platô herbáceo	0.00	0.00	

Tabela 49 - Análise de variância , mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste F (F) e valor- p (p) para a MO

Fonte de Variação	G.L	SQ	MQ	F	p
Nº de populações	2	343.55	171.77	54.37	0
Erro	92	290.68	3.16		
Total	94	634.24			

Tabela 40 - Teste *Post Hoc* de Fischer mostrando os níveis descritivos do p -value para a variável MO.

Grupo	Transecção 1	Transecção 2	Platô herbáceo
	9.15	7.11	3.60
Transecção 1		0.00	0.00
Transecção 2	0.00		0.00
Platô herbáceo	0.00	0.00	

Tabela 51 - Análise de variância , mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste F (F) e valor- p (p) para a salinidade

Fonte de Variação	G.L	SQ	MQ	F	p
Nº de populações	2	35599	17799	39.69	0.00
Erro	92	41257	448		
Total	94	76856			

Tabela 52 - Teste *Post Hoc* de Fischer mostrando os níveis descritivos do p -value para a variável salinidade.

Grupo	Transecção 1	Transecção 2	Platô herbáceo
	48.05	72.49	103.54
Transecção 1		0.00	0.00
Transecção 2	0.00		0.00
Platô herbáceo	0.00	0.00	

Tabela 53 Análise de variância , mostrando o grau de liberdade (G.L.), soma dos quadrados (SQ), média dos quadrados (MQ), teste F (F) e valor- p (p) para o, P-total

Fonte de Variação	G.L	SQ	MQ	F	p
Nº de populações	2	1.3567	0.678	164.80	0
Erro	92	0.3787	0.004		
Total	94	1.7353			

Tabela 54 - Teste *Post Hoc* de Fischer mostrando os níveis descritivos do p -value para a variável P-total.

	Transecção 1	Transecção 2	Platô herbáceo
	0.62	0.46	0.28
Transecção 1		0.00	0.00
Transecção 2	0.00		0.00
Platô herbáceo	0.00	0.00	

5.3.4.1.2 Análise discriminante

As Tabelas 55 a 59 mostram os resultados da aplicação da análise discriminante para a caracterização dos três bosques para a Transecção 1, Transecção 2 e Platô. A Tabela 55 apresenta as médias das variáveis utilizadas. Resultados da distância de *Mahalanobis* (Tabela 56) indica grupos bem diferenciados entre si.. A Tabela 57 mostra um total de acertos de 100%, indicando que as variáveis: umidades, matéria orgânica, salinidade e P-total no compartimento do sedimento estão alocadas corretamente nos três distintos sitios (Transecto 1, Transecto 2 , Platô herbáceo).

Tabela 55 - Médias dos bosques ao longo de T2, n = 40.

	Umidade (%)	Mat.Orgânica (%)	Salinidade	P-Total (mg.g ⁻¹)
T1	46.08	9.15	48.05	0.62
T2	38.62	7.14	73.22	0.46
PHb	27.13	3.60	103.54	0.28

Tabela 56 - Distância de *Mahalanobis* entre os sitios em T2

Distância entre os grupos	T1	T2	PHb
T1	0	24	130
T2	24	0	42
PHb	130	42	0

Tabela 57 - Matriz de classificação das variáveis analisadas.

	T1 p=,25	T2 p=0,50	PHb p=0,25	Porcentagem de acerto
T1	40	0	0	100
T2	0	39	0	100
PHb	0	0	15	100
Total	40	39	15	100

Tabela 58 - Funções lineares discriminantes para os sítios amostrados.

Função Classificação	T1	T2	PHb
Intercepto	-275.25	-203.51	-138.11
P-total	315.474	224.754	120.755
Umidade	4.278	4.296	4.026
Mat.Orgânica	11.944	8.483	3.655
Salinidade	0.96	1.039	1.12

As funções lineares discriminantes apresentadas na Tabela 49 podem ser representadas como:

$$\text{Transecto 1} = -275,25 + 4.278 * \text{Umidade} + 0.96 * \text{Salinidade} + 11.944 * \text{MO} + 315.474 * \text{P-total} \quad (37)$$

$$\text{Transecto 2} = -203.51 + 4.296 * \text{Umidade} + 1.039 * \text{Salinidade} + 8.483 * \text{MO} + 224.754 * \text{P-total} \quad (38)$$

$$\text{PHb} = -138.11 + 4.026 * \text{Umidade} + 1.12 * \text{Salinidade} + 3.655 * \text{MO} + 120.755 * \text{P-total} \quad (39)$$

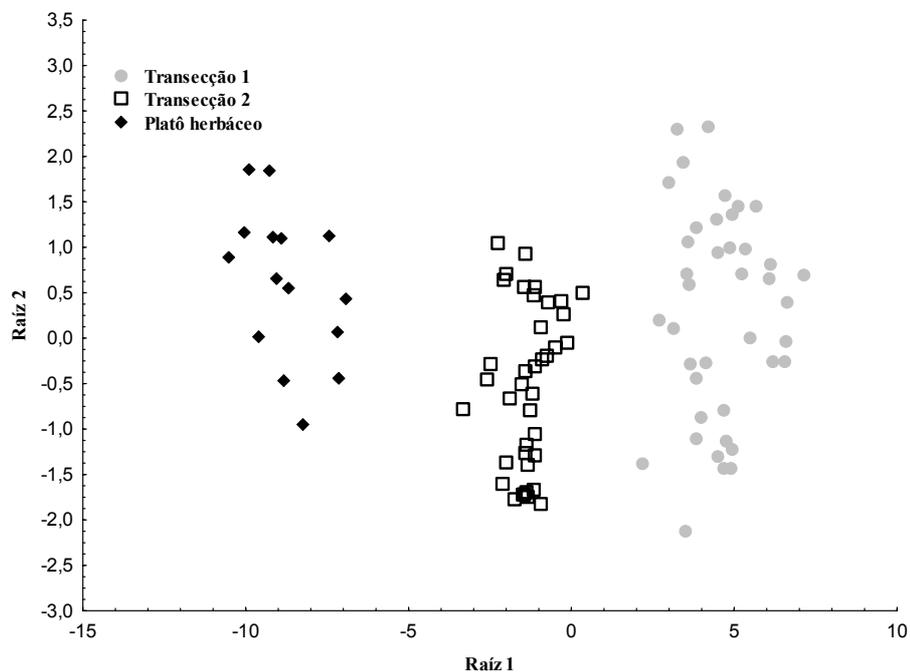
**Figura 43** - Dispersão da Transecção 1, Transecção 2 e Platô herbáceo espaço discriminante.

Tabela 59 – Contribuição relativa das variáveis P-total, umidade, matéria orgânica e salinidade para a discriminação dos sítios amostrados ao longo da planície de Bragança.

Variáveis	Sítios		
	T1-T2	T1-PHb	T2-PHb
P-total	60	51	44
Umidade	1	4	7
Mat.Orgânica	29	36	40
Salinidade	8	7	6

Com 100 % de precisão, a variável P-total , seguido da matéria orgânica foi a variável mais importante na discriminação dos sítios no perfil topográfico.

6 DISCUSSÃO

6.1 GRANULOMETRIA, MINERALOGIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Os sedimentos de T1 e T2 são predominantemente finos (argilosos) e indicam zonas de deposição calma, influenciados pela morfologia do terreno, enquanto no Platô, altos níveis de areia sugere formação de paleoduna com intenso retrabalhamento eólico de areia e entrada de sedimentos finos pela maré. As diferenças granulométricas entre os perfis são condicionados pela topografia, frequência de inundação da maré e a influência da área fonte.

Os sedimentos do manguezal de Bragança são compostos principalmente de quartzo (dominante nas frações areia e silte) e a caulinita, esmectita e illita (na fração dos argilominerais). A presença da hematita, ilmenita e acessórios como xenotímio e monazita demonstra origem a partir dos sedimentos intemperizados e solos (principalmente Latossolos) derivados da Formação Barreiras. Essa formação é tida como a principal fonte de clastos dos sedimentos lamosos da zona costeira do Pará, sobre as quais se desenvolveram os manguezais (Costa 2004) e (Berrêdo 2006).

A ocorrência dos minerais tipicamente autigênicos nesses sedimentos, como a pirita, a halita é um reflexo dos processos de oxi-redução da matéria orgânica, da oxidação da pirita e da intensidade da evaporação e/ou evapotranspiração, respectivamente, atuantes nesses ambientes. Outros minerais ausentes da área fonte, e tidos como autigênicos por (Costa 2004) e (Berrêdo 2006) são os feldspatos-K), de ocorrência esporádica, e a esmectita (abundante), ocorrendo normalmente associada a diatomáceas, além da vivianita (Figuras 9; 10; 11; 12).

Resultados embora semi-quantitativo dos argilominerais indica altos percentuais para a esmectita (39 – 60 %) (Tab.1) e relações inversas entre esse mineral e a caulinita nos perfis analisados. O maior percentual de caulinita é observado nas áreas rebaixadas, frequentemente inundadas, onde os valores de salinidade intersticial são mais baixos, enquanto que a esmectita apresenta maior concentração nas áreas mais elevadas e com maior valor de salinidade intersticial.

Os elevados percentuais da esmectita sugerem uma fonte detrítica para esse mineral a partir da contribuição de sedimentos de áreas plataformais, transportados pelas águas da corrente Norte e depositados preferencialmente nos sedimentos dos manguezais. A possível origem detrítica e o comportamento inverso nas proporções de caulinita e esmectita estão de acordo com a idéia de Patchineelam & Nogueira (2000) os quais sugerem uma deposição preferencial da

caulinita e da esmectita nos sedimentos da plataforma brasileira Amazônica. Porém, esses autores são contestados por Morais et al. (2005) que consideram a possibilidade da deposição da esmectita, somente em ambientes lênticos. Por outro lado, a fonte autigênica da esmectita também é uma hipótese a ser considerada para os sedimentos de manguezais de Bragança conforme discutido em Costa et al. (2004), tendo em vista que esses ambientes reúnem as condições necessárias para a formação desse mineral devido a presença de grande quantidade de diatomáceas (sílica biogênica) que servem como substrato para reações de adsorção do alumínio proveniente da degradação da caulinita de baixa cristalinidade (ou óxidos de alumínio envolvendo partículas) com os teores elevados de álcalis de origem marinha.

Os sedimentos de manguezal de Bragança são enriquecidos em relação à Formação Barreiras em SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , além de K_2O , MgO , Na_2O , CaO e TiO_2 , P_2O_5 e MnO . Os teores médios de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ (em torno de 65 %), correspondem ao quartzo, sílica biogênica (carapaças de diatomáceas) e aos minerais de argila. Os teores elevados de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 expressam a influência dos produtos do intemperismo e solos derivados na constituição dos sedimentos dos manguezais. O enriquecimento de Na_2O , K_2O , MgO e CaO em relação a área fonte (Formação Barreiras) (Figuras 16) corresponde à contribuição das águas marinhas no estuário. Os teores de K_2O estão associados a feldspatos potássicos e argilominerais tipo esmectita e illita, os teores de Na_2O e Cl^- constituem a halita; os teores de MgO estão associados à esmectita, enquanto os valores médios de CaO podem compor a calcita, embora esse mineral não tenha sido identificado na difração de raios-x.

As baixas concentrações dos elementos traço estão próximas aos valores médios da crosta terrestre superior (Figuras 17), correlacionáveis aos solos lateríticos encontrados na Amazônia (Kronberg et al. 1979). Comparados a crosta, verifica-se o leve enriquecimento de V, Zr, Cr, Zn, Sc, Y, Pb, Ga, As, Hf, Th, U e Cs como minerais resistatos, associados à hematita ou goethita ou a matéria orgânica nos solos amazônicos (Kronberg et al. 1979) e (Costa et al. 2004). Os teores desses elementos são comparáveis às argilas continentais como o As, em relação ao índice NASC (Gromet et al. 1984), provavelmente associado a óxidos de ferro em sedimentos oxidados ou à matéria orgânica.

A forte relação dos elementos traço encontrada nos manguezais de Bragança com as concentrações de metais presentes nos sedimentos da Formação Barreiras, evidenciam a

influência dessa unidade geológica sobre a gênese dos sedimentos dos manguezais concordando com Costa et al. (2004) e Berrêdo (2006).

Os teores dos Elementos Terras Raras (ETR) nos sedimentos de manguezal são mais elevados ou próximos dos níveis crustais (Figuras 19) e seus somatórios são $\Sigma 234,39$ em Bragança e $\Sigma 210,8$ em Marapanim (Berrêdo 2006) e (Berrêdo et al. 2008a, b), corrobora as semelhanças entre as áreas fonte dos manguezais. As razões Th/Co; La/Th; La/Sc; La/Co e Zr/Sc são enriquecidas em relação ao PASS e sugerem a assinatura geoquímica de rochas félsicas nos sedimentos de manguezais semelhante ao observado por Berrêdo (2006) para os manguezais de Marapanim (Tabela 29). Essas rochas são abundantes em La, Th e Ba, elementos concentrados nos perfis lateríticos pelo intemperismo tropical Costa (1991).

Tabela 29 - Razões entre elementos traço nos sedimentos de manguezal comparados ao PASS e manguezais de Bragança.

	Bragança (este estudo)	Marapanim ¹	PASS
Rb/Sr	0,81	0,85	0,80
Zr/Hf	35,19	40,35	42
Th/U	4,54	3,99	4,70
Th/Sc	1,07	0,94	0,90
Th/Co	1,74	1,73	0,60
La/Th	3,27	6,26	2,60
La/Sc	3,51	3,41	2,40
La/Co	5,68	6,26	1,70
Ba/Co	27,43	29,85	28,30
Zr/Sc	14,48	21,96	13,1

Nos manguezais de Bragança são encontradas altas razões La/Yb, (La/Yb)_c e La/Lu, devido ao enriquecimento dos ETRL em relação aos ETRP (Tabela 30). Por outro lado, a característica anomalia negativa do Eu (Figura 19) é normalmente interpretada como herdada de rochas ígneas félsicas Cullers & Graf (1983), Taylor & McLennan (1985), McLennan & Taylor (1991).

Solos lateríticos, derivados de rochas graníticas, compõe parte das fontes dos sedimentos da Formação Barreiras e contribuem para os manguezais da costa nordeste do Pará (Costa et al. 2004) e (Behling & Costa 2004).

Tabela 30 - Fracionamento dos elementos Terras Raras comparados ao PAAS e crosta continental.

	Bragança ¹	Marapanim ²	PAAS ³	Crosta Continental ³
ΣETR	234,39	210,8	183	145,7
ETRL/ETRP	10,60	8,71	9,45	8,91
La/Yb	18,87	16,59	13,57	13,64
(La/Yb) _c	12,20	11,18	9,17	9,20
(Eu/Eu)*		0,77	0,66	0,65
(Gd/Yb) _c	1,93	1,52	1,36	1,40
Sm/Nd	0,19	0,20	0,18	0,17
La/Lu	131,10	111,33	88,37	93,75
Eu/Sm	0,23	0,23	0,20	0,20

¹ Este estudo; ² Berrêdo (2006); ³ Taylor & McLenan (1985);

ETRL/ETRP: relação Elem. Terras Raras Leves e Pesados;

* $Eu/Eu = Eu_n \sqrt{(Sm)_n (G_g)}$;

c: Condrito.

6.2 AVALIAÇÃO NO PERFIL DE INUNDAÇÃO¹

Os sedimentos que sustentam a vegetação de mangue na planície de Bragança encontram-se sujeitos a padrões de inundação determinados por macromarés em um suave

¹ Alguns dados utilizados nesta pesquisa foram realizados na área de estudo, como os de Scmith (2006), Menezes (2006) e Mendoza (2007). Dados físico-químicos (pH e Eh), determinados por Mendoza (2006) foram realizados na estação chuvosa. Porém Scmith (2006), na mesma área, obteve valores similares para o pH na época de estiagem. Resultados físico-químicos obtidos por Berrêdo (2006), no manguezal de Marapanim, em períodos sazonais distintos, entre o período úmido e de estiagem, indicaram pequenas variações nos valores de pH e Eh, o que nos permite inserir a variação redox em T1. Mendoza (2006) na discussão deste trabalho.

gradiente topográfico (Lara et al. 2001). Porém, o nível de flutuação da FI demonstra ser um importante controle nas mudanças biogeoquímicas dos sedimentos e na estrutura da floresta.

Com base nos resultados da Análise Discriminante a discussão se pautará na avaliação das variáveis que mais discriminam os sítios entre si, ao longo do perfil de inundação e topográfico.

6.2.1 Transecção 1 (T1)

A umidade dos sedimentos é a variável que apresenta a maior contribuição na discriminação tanto entre os bosques de *Rhizophora* e *Avicennia*, quanto nos bosques de *Rhizophora* e Misto. Do mesmo modo, a variável matéria orgânica, seguida do P-total, apresenta maior importância na discriminação dos bosques Misto e de *Rhizophora* (Tabela 22).

6.2.1.1 Umidade

A significativa correlação existente entre a frequência de inundação e a umidade ($r = 0,80$, $n = 40$, $p < 0,01$) sugere que as águas da maré em regime de inundação semi-diurno, na estação de pouca chuva, contribuem para a variação da umidade dos sedimentos analisados. Esses resultados são consistentes com os registrados por Schwendenmann (1998) no Furo do Chato (região próxima à área de estudo) e, por Berrêdo (2006) e Vilhena (2006) nos manguezais de Marapanim, NE do Pará.

A forte correlação entre a umidade e o P-total ($r = 0,90$, $n = 40$, $p < 0,01$), reflete a diminuição desse parâmetro com o aumento da elevação. A maior concentração média encontra-se na zona frequentemente inundada, no bosque de *Rhizophora* ($0,71 \pm 0,04 \text{ mg.g}^{-1}$), e o menor valor médio associa-se a sedimentos topograficamente mais elevados, menos inundados, no bosques de *Avicennia* ($0,53 \pm 0,02 \text{ mg.g}^{-1}$). Esses valores encontram-se na faixa de outras pesquisas realizadas na península de Bragança (Medina et al. 2001); (Reise 2003) e (Mendoza 2007). A forte correlação com o P-inorg ($r = 0,96$, $n = 40$, $p < 0,01$), confere a fração inorgânica, como a fração mais importante do P-total. Esta é mais reativa (Robertson & Alongi 1992), e contribui para a disponibilidade de P para as plantas (Saenger 2002).

O comportamento do P-inorg. está intimamente associado ao conteúdo de ferro e níveis do potencial redox e pH (Alongi et al. 1993). Neste estudo é a forma mais representativa do P-total (85%); sendo a fração dominante o P-Fe/Al, e menores proporções de compostos instáveis de P-Ca (Mendoza 2007). A fração P-Fe/Al é sensível à variação no pH e do potencial redox. Em condições redutoras, a desestabilização dos minerais de ferro proporciona a liberação do P à medida que ocorre redução do Fe^{3+} para Fe^{2+} (Gomez et al. 1999) e (Kristensen et al. 1994).

Neste trabalho, a alta concentração de Fe_2O_3 (3 - 6,8 %) (Tabela 2) nos sedimentos sugere a existência de significativas concentrações de compostos como hematita e oxihidróxidos férricos amorfos ($Fe(OH)_3 \cdot nH_2O$), α - $FeOOH$ (gohetita), γ - $FeOOH$ (lepidocrocite), e α - $Fe_3(OH)_8$ (hidróxido ferroso férrico) que, provavelmente, são envolvidos no equilíbrio redox (Ponaperuma 1967) e (Ponaperuma 1972). Por outro lado, a disponibilidade do SO_4^{2-} na água intersticial (Mendoza 2007), sugere que a respiração aeróbica e a redução anaeróbica de Fe^{3+} e SO_4^{2-} , são os íons mais importantes do processo de oxidação desses sedimentos, como proposto por Fenchel et al. (2000) e Kristensen et al. (2008), para sedimentos costeiros.

No bosque de *Rhizophora*, a maior frequência com que esses sedimentos são inundados durante o ano (136 dias/ano) favorece processos de redução mais intensos quando comparado ao bosque de *Avicennia* (54 dias/ano), o que resulta na maior disponibilidade de P para a solução do solo; esses resultados são corroborados pela forte correlação entre a umidade e o P-biodisponível. ($r = 0,96$, $n = 40$, $p < 0,01$).

Estudos prévios, na área de estudo realizados em moderados valores de Eh (121 mV) mostram maior disponibilidade do P associado à dissolução da fração Fe/Al-P com maiores concentrações no bosque de *Rhizophora* (Mendoza 2007). Em sedimentos inundados com alta concentração de ferro, a redução do Fe^{3+} para Fe^{2+} pode resultar em compostos amorfos reduzido, com grande área superficial. Altas somas de fósforo podem ser absorvidos, com ligação de baixa energia, facilmente rompidas por instabilidade termodinâmica (Hinsinger 2001) e (Reddy & DeLaune 2006).

O bosque Misto apresentou condições físico-químicas, fracamente oxidantes, com valores de Eh na faixa de +70 a +150 mV (Mendoza 2007) refletindo condições de inundação menos intensas (95 dias/ano), porém o suficiente para promover a disponibilidade de P provavelmente pela dissolução da fração de Fe/Al-P.

No bosque de *Avicennia*, devido sua posição topograficamente mais elevada em relação aos demais, a exposição aérea é maior e os sedimentos apresentam características oxidantes na maior parte do tempo, $Eh = + 220$ mV (Mendoza 2007). Nessas condições, os íons de P adsorvidos estão rigidamente presos aos compostos de ferro, formando precipitado nas imediações das raízes de *A. germinans* (Saleque & Kirk 1995) e (Kirk 2003). Esses resultados estão de acordo com (Mendoza 2007) que encontrou menores concentrações de P imobilizado na fração Fe/Al-P nesse bosque, quando comparado aos maiores valores encontrados no bosque de *Rhizophora*.

Os teores de P-biodisponível foram consistentes com estudos prévios na Península de Bragança (Frizano et al. 2003), porém, foram mais altos que os obtidos em outros manguezais por (Hesse 1961) e (Boto & Wellington 1984).

O P-org. não apresentou marcante influência na disponibilidade do P, possivelmente devido sua baixa proporção na fração do P-total (< 10 %).

A condição redox dos sedimentos, condicionada a inundação da maré, e, por conseguinte, ao teor de umidade nos sedimentos, embora não considerada diretamente na Análise discriminante, exerce importante papel na separação desses bosques, principalmente na relação entre o bosque de *Avicennia*, sob fortes condições oxidantes, com os bosques, Misto e de *Rhizophora*, os quais se desenvolveram em sedimentos fracamente oxidantes e fracamente redutores, respectivamente.

6.2.1.2 Umidade - salinidade e estrutura da floresta

Os teores de umidade nos sedimentos põem em evidência zonas expostas a diferentes frequências de inundação as quais refletem distintos níveis topográficos. Por sua posição em zonas topograficamente mais baixas o bosque de *Rhizophora* e até mesmo o bosque Misto são constantemente inundados pelas águas da maré, o que impede que os sais adsorvidos aos sedimentos sejam concentrados por evapotranspiração e o desenvolvimento de condições de alta salinidade (> 40)

No bosque de *Avicennia*, condições de hipersalinidade (>100) foram observadas no topo do perfil vertical (0-5 cm) evidenciando nítida zonação vertical, possivelmente devido a sedimentos menos homogêneos, refletindo um sistema de raízes pouco desenvolvidos da espécie mais jovem de *A. germinans*, dominante nesse bosque (100 %). Enquanto no bosque de *Rhizophora*, a ligeira variação desse parâmetro com a profundidade, sugere um menor efeito da evapotranspiração devido à maior influência das águas da maré, associada à maior cobertura vegetal de um bosque mais alto, com sistema de raízes mais desenvolvido, o que ocasiona maior homogeneização dos sedimentos.

As fortes correlações negativas entre a umidade e a salinidade ($r = -0,92$, $n = 40$, $p < 0,01$), como também entre a frequência de inundação com a salinidade ($r = -0,80$, $n = 40$, $p < 0,01$), apóiam a influência da água da maré no controle da umidade, e na diluição dos sais presentes na água intersticial, em condições de pouca chuva. Esses resultados são consistentes com os estudos de (Lara & Cohen 2006), realizados na península de Bragança. Esses autores sugerem que as águas do rio Caeté contribuem para o equilíbrio da entrada e saída de sais do estuário, devido ao efeito da lixiviação dos sedimentos nas marés altas; sítios localizados em topografia mais elevada, raramente inundados por águas das marés, podem ter valores de salinidade maiores do que as salinidades registradas nas áreas de mangue, diariamente inundado.

A estreita relação observada entre a umidade dos sedimentos com a frequência de inundação e a topografia do terreno, apresenta correspondência na transição da vegetação entre o bosque de *Rhizophora* e o bosque de *Avicennia*, como mostra a tendência positiva entre a umidade e a altura das árvores ($r = 0,64$, $n = 20$, $p < 0,01$) e entre a umidade e o P-biodisponível ($r = 0,96$, $n = 40$, $p < 0,01$).

Ao longo de toda transecção, a forte correlação entre P-folhas e P-biodisp. ($r = 0,85$, $n = 20$, $p < 0,01$) ressalta a influência da disponibilidade do fósforo nos sedimentos para nutrição das espécies de *R. mangle* e *A. germinans*. A correlação entre P nas folhas maduras e P-biodisponível nos sedimentos pode ser um útil indicador do estado nutricional das plantas de mangue (Boto & Wellington 1984), (Medina 1984), (Marchand et al. 2004).

A moderada capacidade de *R. mangle* de oxidar suas raízes (Nickerson & Thibodeau 1985) e (Thibodeau & Nickerson 1986), pode favorecer melhor adaptação desta espécie em ambientes frequentemente inundados, com reflexo no aumento de sua altura (Shermann et al., 1998) e (Mendoza et al. 2007). Entretanto, no bosque de *Avicennia*, o baixo valor de P-

biodisponível, associado a elevados valores de salinidade, e menor conteúdo de umidade, favorece o acúmulo de sais na superfície dos sedimentos, impondo uma desigualdade de íons na rizosfera, acarretando estresse adicional para o crescimento e a função das raízes (Marschner 1995). A forte correlação negativa entre a altura da floresta e a salinidade da ($r = - 0,83$, $n = 40$, $p < 0,01$) evidenciam esse estresse

Os indivíduos de *Avicennia* mostram menores valores de altura ($7,8 \pm 1,5$) e DAP ($14,11 \pm 4,54$) na parte mais elevada e salina da transecção. Esses resultados estão de acordo com outros trabalhos que registram que a espécie da família da Rhizophoraceae tem ótimo crescimento a níveis de salinidade abaixo de 25 (Naidoo 1986) e (Naidoo 1998). Em contraste, a espécie do gênero de *Avicennia* é mais tolerantes ao sal e mais conservativa no uso da água em seus tecidos. Sobrado (2000). Essa habilidade pode reduzir sua competitividade em condições de menor salinidade, onde a *R. mangle* é mais abundante. Geralmente indivíduos de *A. germinans* são limitados a ambientes altamente salinos onde é um superior competidor Ball (1988). No bosque de *Avicennia*, com valor máximo de salinidade intersticial de 108 a densidade relativa dessa espécie é de 100%.

Resultados da análise isotópica na área de estudo mostram que os valores do $\delta_{13}C$ nas folhas das *R. mangle* and *A. germinans*, correlacionam positivamente com a salinidade e negativamente com a frequência de inundação (FI). Salientando que em condições de menor potencial redox, na zona frequentemente inundada, o estresse para as plantas é menor quando comparado a ambientes de elevado valor de salinidade e baixas concentrações de P-biodisponível Scmitt (2006).

Nos pontos extremos da transecção (bosque de *Rhizophora* e bosque de *Avicennia*) as diferenças nos teores de umidade e salinidade mostram ser um importante fator na discriminação desses bosques. Para os indivíduos de *R. mangle*, houve decréscimo de densidade relativa do bosque de *Rhizophora* (58 %) para o bosque Misto (41 %), seguida da diminuição da área basal de $27 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ para $16 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$; e do volume, de 145.562 cm^3 para 78.066 cm^3 respectivamente. Por outro lado, o aumento da dominância de árvores de *Avicennia* (100 %), de menor porte, na parte mais elevada do perfil, pode ser consequência do baixo teor de umidade e da hipersalinidade dos sedimentos. O aumento de sua altura média de $7,8 \pm 1,5 \text{ m}$ para $10,3 \pm 2,05 \text{ m}$ em direção ao bosque Misto apóiam essa suposição (Tabela 8).

A adaptação das espécies *Rhizophora* e de *Avicennia*, em ambientes de alta e baixa inundação respectivamente, está de acordo com os estudos em manguezais, que consideram a *Avicennia* mais tolerante ao sal e, por isso, mais hábil para colonizar áreas com altas salinidades, enquanto a *Rhizophora* predomina em sedimentos mais salobros, com suprimento de água doce de acordo com Nickerson & Thibodeau, (1985), Thibodeau & Nickerson (1986), McKee (1993), Shermann et al. (1998), Shermann et al.. (2003)

6.2.1.3 Matéria orgânica

O gradiente de teores médios de matéria orgânica sedimentar que se estabelece a partir do bosque de *Rhizophora* ($6,13 \pm 0,6$), Misto ($8,79 \pm 0,41$) e de *Avicennia* ($9,82 \pm 0,4$) demonstra a influência da hidrologia associada à topografia do terreno. A MO como fonte de carbono e energia varia com o tipo do tecido vegetal (Anderson & Coleman 1985). Por isso, no processo da produção da liteira e raízes, a retenção e decomposição desses tecidos são importantes para avaliar o efeito da espécie individual.

Na península de Bragança, a liteira com maior percentual de folhas (Mehling 2001), (Carvalho 2002), (Reise 2003), (Nordathus 2003), (Farias et al. 2006), (Gonçalves et al. 2006), (Menezes 2006), assim como em outras regiões da Amazônia (Fernandes 1997) é a principal fonte da produtividade do manguezal, atuando na superfície dos sedimentos como reservatório de nutrientes, controlado pelos processos de produção e decomposição.

Os bosques de *Rhizophora* e Misto são colonizados principalmente pelas espécies de *R. mangle* e de *A. germinans*, com dominância da espécie de *R. mangle* (58%) no bosque de *Rhizophora* e de *A. germinans* (59%) no bosque Misto.

Estudos prévios na área de estudo mostram que a produtividade total dos bosques Misto e de *Rhizophora* é similar, e em ambos os bosques a espécie de *Rhizophora* é a mais produtiva, porém com maior percentual no bosque Misto (Menezes 2006).

Resultados estruturais mostram que no bosque de *Rhizophora*, a *R. mangle* é a espécie com maior dominância relativa (DoR) (58%) e com maior valor de importância (VI) (141) sendo a espécie mais produtiva. No entanto, esse padrão não é observado no bosque Misto, onde a espécie *A. germinans* com maior DoR (59%) e maior VI (164) não apresenta maior

produtividade, sugerindo que outros fatores diferentes da produção de serapilheira atuam na produtividade da floresta.

Apesar das árvores de *Rhizophora* não serem dominantes no bosque Misto, apresentam estrutura vertical mais desenvolvida (11 m) do que as árvores de *Avicennia* (10 m), (Tabela 8). Um ligeiro aumento da concentração de P nas folhas de *R. mangle* ($1,3 \text{ mg.g}^{-1} \pm 0,04$) quando comparado as folhas de *Avicennia* ($1,2 \text{ mg.g}^{-1} \pm 0,01$), pode ser consequência da melhor aquisição e melhor reciclagem interna desse nutriente por indivíduos de *Rhizophora*. inferindo diretamente no seu estado nutricional. Na península de Bragança, em florestas monoespecíficas de *Rhizophora* e de *Avicennia*, a maior produtividade de folhas no sitio de *Avicennia* é atribuída à maior altura deste sitio quando comparado ao dominado por *Rhizophora*. Fernandes et al.. (2006)

No bosque Misto, sujeito a mesma freqüência de inundação (88 dias/ano), a *R. mangle* apresenta maior capacidade de induzir a oxigenação de suas raízes, do que as espécies de *Avicennia* (Mendoza 2006), o que pode explicar a melhor adaptação desta espécie nesse bosque, e portanto maior produtividade. As propriedades físicas e químicas do solo podem refletir-se nas concentrações dos nutrientes foliares (Vitousek 1982); e interações nutricionais vinculadas a outros componentes da comunidade compreendem pontos-chave na investigação da distribuição de espécies vegetais (Whitmore 1989).

Nos bosques de *Rhizophora* e Misto, a liteira é composta por folhas de *Rhizophora*, ricas em taninos e carbono (lignina) (Lara & Dittmar 2001), (Dittmar & Lara 2003), (Scmitt 2006) e folhas de *Avicennia*, com maior concentração de nitrogênio do que as folhas de *Rhizophora* (Scmitt 2006). No bosque Misto, os sedimentos de *Avicennia* contêm maior taxa de MO ($9,82 \pm 0,4$) do que os sedimentos de *Rhizophora* ($8,79 \pm 0,4$). E se a taxa microbiana difere entre estas espécies arbóreas é possível que a qualidade da liteira, produzida no chão desses bosques, possa conduzir a diferentes efeitos na dinâmica de nutrientes (Gleason et al. 2003).

Açúcares e aminoácidos são importantes substratos para a comunidade microbiana, e servem como indicadores de processos biogeoquímicos, controlando a natureza da MO, acumulada nos sedimentos de mangue. Seus resultados mostraram aumento na contribuição de carboidratos e amino-ácidos, para o reservatório de carbono em sedimentos colonizados por *Avicennia*, e pouca conversão microbiana nos sedimentos colonizados por *Rhizophora* (Lacerda 1997).

As folhas de *Avicennia* são mais finas ricas em nitrogênio, afundam facilmente na água e decompõe-se mais facilmente, de outro modo, as folhas de *Rhizophora* são mais duras, flutuam na água (Wafar 1997) e contém mais taninos e carbono do que as folhas de *Avicennia* (Scmith 2006) que inibem a colonização bacteriana (Cundell et al. 1989).

No bosque de *Rhizophora* a menor taxa de MO pode ser explicada por vários fatores: a) exportação parcial da liteira pelas águas da maré com maior frequência nesse bosque; b) lenta taxa de decomposição da matéria orgânica em ambientes redutores (Ponamperuma 1972) e (Aston et al. 1999); c) maior presença de material refratário de nitrogênio e de lignina (Dittmar et al. 1999), (Dittmar & Lara 2001), resistente à decomposição na ausência de oxigênio (Fenchel et al. 2000), (Reddy & DeLaune 2006), (Dittmar et al. 1999), (Dittmar & Lara 2001); e d) maior atividade do representante da macrofauna bêntica na península de Bragança, o caranguejo, *Ucides cordatus cordatus* L. (DECAPODA: BRACHYURA) Nodathus (2003), responsável pelo consumo de aproximadamente 67 % da liteira depositada no chão da floresta principalmente de folhas de *R. mangle*, por sua dieta alimentar, em consumir taninos hidrolisáveis (Diele 2000), (Schories et al. 2003), (Nodathus 2003), (Scmith 2006).

No bosque Misto, a menor frequência de inundação possibilita a permanência de maior quantidade de liteira no chão da floresta, que aliada a condições do substrato fracamente oxidado, favorecem a decomposição da MO, principalmente de folhas de *Avicennia* e do material refratário das folhas de *R. mangle*, inibida pela ausência de oxigênio, no bosque de *Rhizophora*. Sugerindo maior atividade microbiana nesse bosque, e maior taxa de decomposição da matéria orgânica. Pequena exposição aumenta a degradação de detritos marinhos (Fenchel et al. 2000).

A estrutura da floresta e a qualidade da liteira, associada a atividades microbianas na decomposição da MO, em diferentes condições ambientais, podem explicar a importância da MO na discriminação do bosque Misto e o bosque de *Rhizophora*.

6.2.1.4 Umidade/matéria orgânica e capacidade de troca catiônica (CTC)

Os sedimentos em T1 apresentam granulometria fina (> 80% de argila), elevada taxa de matéria orgânica associada (5,13 a 15 %), com significativa soma do argilomineral esmectita (47 %), com alta capacidade de troca catiônica (Grim 1953) e (Brady 1989). Ocorrem ainda com

argilominerais caulinita com grande poder de adsorção de fósforo (Robertson & Alongi 1992) e illita com capacidade de reter potássio em sua estrutura (Faure 1998).

A correlação entre a esmectita e a CTC ($r = 0,54$; $p < 0,01$; $n=20$) é baixa, porém, significativa. E sugere que outros fatores possam influenciar na capacidade de troca catiônica nos sedimentos, como por exemplo, a matéria orgânica, a qual apresenta significativa correlação com a CTC ($r= 0,82$; $p < 0,01$; $n=20$). A hipótese da forte adsorção de cátions pela matéria orgânica é justificada pelo fato de que a argila do solo contém apreciável mistura de humos, com estrutura coloidal semelhante a da argila silicatada, porém com maior capacidade de troca catiônica que esta, em ampla faixa de pH (Braddy 1989) e (Sposito 2008).

Em ambiente redutor, como no bosque de *Rhizophora*, os cátions trocáveis são usualmente dominados por íons Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} e NH_3^+ (Reddy & DeLaune 2006). Na faixa de pH acima de 6, esses íons tendem a movimentar-se no permeio das unidades cristalográficas dos argilominerais 2:1, impedindo a expansão cristalográfica, e bloqueando os espaços de permuta (Brady 1989) e (Kirk 2003). Os sais altamente solúveis são removidos pelas águas de inundação, enquanto que carbonatos de cálcio e magnésio que se formam como produtos das reações da redução de sulfato a sulfeto (Clark 1998), usualmente precipitam. A soma desses processos, e a lixiviação de cátions divalentes, na zona de maior frequência de inundação, podem explicar o menor valor da CTC encontrado no bosque de *Rhizophora* ($117 \pm 2 \text{ cmol.Kg}^{-1}$), quando comparado com os valores do bosque Misto ($131 \pm 1,8 \text{ cmol.kg}^{-1}$) e de *Avicennia* ($142,40 \pm 3 \text{ cmol.Kg}^{-1}$).

No ambiente mais oxidado da transecção, representado pelo bosque de *Avicennia*, a oxidação dos sulfetos resulta na precipitação de minerais de oxi-hidróxidos de ferro e na mobilização de metais nos sedimentos devido à diminuição do pH da água intersticial, pela liberação de íons H^+ (Clark 1998). O hidrogênio liberado se desloca para a solução do solo e reage com o OH^- para formar água diminuindo a concentração dos íons hidrogênio, elevando a concentração de íons OH^- e conseqüentemente a do pH. Os locais de permuta aumentam, e a CTC também aumenta. Esse processo pode explicar os maiores valores da CTC nesse bosque. A maior taxa de esmectita nos sedimentos de *A. germinans* (bosque Misto e bosque de *Avicennia*) e a significativa correlação entre a CTC e a esmectita ($r= 0,54$; $p < 0,05$; $n=20$) sugerem uma contribuição importante da esmectita para a reserva de nutrientes no sedimento, disponível para a planta. O menor percentual desse argilomineral (40 %) quando comparado com o percentual de

caulinita (55 %), no bosque de *Rhizophora*, não chega a ser relevante devido a sua capacidade de troca catiônica ser 10 a 15 vezes maior do que a caulinita (Grim 1985).

Prévios estudos na utilização de sedimentos de mangue para a cultura de arroz indicam que sob árvores de *Avicennia*, os sedimentos são mais agriculturáveis do que sob árvores de *Rhizophora*, devido à alta acidez produzida pela *Rhizophora* (Lacerda et al. 1995) e (Lacerda 1997). Nesse estudo maiores valores de MO associada a solos de *Avicennia* sugere a presença de MO mais degradável, como observado por Lacerda et al. (1995).

Os sedimentos de *Avicennia* sustentam maior taxa de atividade microbiana, e conseqüentemente melhor fonte disponíveis de nutrientes; suportando também maior concentração de metais traços trocáveis e disponíveis para as plantas (Lacerda 1997). Os sedimentos nas imediações das raízes de *Avicennia marítima* apresentam maiores taxas de MO, maior valor de pH e maior CTC do que a *Bruguiera gymnorrhiza* da família da Rhizophoraceae (Naidoo 1987).

A fraca mais significativa correlação positiva entre a caulinita e CTC e com a altura, é um fato a ser considerado. A tendência linear e positiva da caulinita com P-inorg ($r = 0,51$; $p < 0,05$; $n = 20$) e com a altura das árvores ($r = 0,54$; $p < 0,05$; $n = 20$) mostra também que esse argilomineral com baixa CTC, pode contribuir para o reservatório de nutrientes, para as plantas de mangue.

A superfície da caulinita geralmente é coberta por camadas de óxido-hidróxido de ferro, resultando numa superfície parcialmente oculta e inativa (Meunier & Righi 1995). A dissociação desses micros agregados por processos de redução e complexação de ferro por ácidos orgânicos, muda a estrutura e propriedades físico-químicas do solo, como o aumento da carga negativa na superfície da caulinita, propiciando elevação na sua capacidade de troca (Meunier & Righi 1995) e (Kirk 2003), e na liberação de íons fosfato (Stauton 2002).

A caulinita pode contribuir para adsorção de P (Alongi & Robertson 1992), devido à troca do íon hidroxila, disponível nas arestas dos argilominerais, com o íon fosfato dissociado na solução do solo (Stout 1939); processo este semelhante ao que ocorre com os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (Bonneville et al. 2004). Em sedimentos de intermaré, grande parte do ferro encontra-se presente em camadas de óxido-hidróxido nas superfícies das argilas, decorrente dos processos alternados de oxiredução (Kirk 2003).

6.2.2 Transecção 2 (T2)

As variáveis consideradas na análise discriminante são conjuntamente importantes na discriminação dos sítios, porém a umidade, P-total e a salinidade são as mais relevantes, como observado na Tabela 42.

6.2.2.1 Umidade/P-total/Salinidade

A forte correlação entre a umidade e a FI ($r=0,9$; $n=40$, $p<0,01$) mostra que a frequência de inundação também condiciona a flutuação da água intersticial nos sedimentos. A fraca, mas significativa correlação entre a umidade e P-total ($r=0,37$, $n=40$, $p<0,05$) mostra pouca variação da concentração desse elemento ao longo do gradiente de inundação, possivelmente ocasionado pelo desnível topográfico no início da transecção, que ocasiona maior tempo de retenção de água ou por mudanças biogeoquímicas peculiares na relação sedimento-planta observadas nesta floresta.

O campo arbustivo na elevação da transecção é uma floresta jovem inundada somente na maré de sizígia. Os sedimentos neste sítio encontram-se em grande parte cobertos pela vegetação herbácea, onde a espécie dominante *S. portulacastrum* (70 %) desempenha papel importante na concentração de P nesses sedimentos.

A elevada concentração de P em suas raízes ($3,30 \pm 0,17 \text{ mg.g}^{-1}$), sete vezes maior do que o valor encontrado no sedimento, sugere que essa planta, pode ter a função de enriquecimento e restauração de P nos sedimentos que colonizam. Essa suposição é apoiada pelos valores mais elevados de P, em uma faixa de ($0,43 - 0,50 \text{ mg.g}^{-1}$) neste sítio, quando comparados aos valores encontrados no bosque de *A. germinans* ($0,39 - 0,43 \text{ mg.g}^{-1}$), com domínio de vegetação arbórea, nesta mesma transecção.

Estudos prévios mostraram que 60 % das raízes analisadas de *S. portulacastrum* apresentaram associação micorrízica capaz de fixar N_2 . Do mesmo modo, a contagem bacteriana e o baixo valor do $\delta^{15}\text{N}$ da rizosfera dessa vegetação, confirmaram a que o *S. portulacastrum* melhora as condições de nutrientes no substrato, pela fixação adicional de N_2 do ar atmosférico. (Scmith 2006).

Micorrizas colonizam o córtex das raízes para obtenção de fontes de carbono em troca da assimilação de nutrientes ativamente absorvidos pelas raízes (Bago et al. 1998). A associação com fungos micorrizal é conhecida por aumentar a tolerância de plantas ao estresse ambiental, assimilando duas a três vezes a concentração de N e P nas suas raízes, além de protegê-las contra substâncias tóxicas, como excesso de íons Na^+ (Gupta et al. 2000).

Resultados desta pesquisa mostraram assimilação de fósforo nas raízes dessa herbácea, pelo menos duas vezes superior ao esperado na literatura; o que indica importante contribuição do *Sesuvium* na ciclagem de P nesses sedimentos. A halófito *S. portulacastrum* por atuar na rápida colonização e na fixação do sedimento e restauração de substratos é considerada como uma importante espécie pioneira em ambientes costeiros (Lonard & Judd 1997).

Ao longo da transecção em direção no bosque de *A. schaueriana* e herbácea, a diminuição na dominância do *S. portulacastrum* (13 %), contrariamente ao aumento da dominância do *S. virginicus* (53 %), reflete menor adaptação num ambiente mais úmido e menos salino onde, também, a espécie arbórea de *A. schaueriana* se estabelece atenuando a luz pela copa de suas árvores, e competindo por nutrientes.

A tendência da correlação entre P-biodisp. com a umidade ($r = -0,68$, $n=40$, $p < 0,01$) em apontar maior disponibilidade nas zonas onde ocorre a presença da vegetação herbácea, (que contribuem com significativas concentrações de fósforo para os sedimentos, pode estar associada à dissolução dos minerais de fósforo como P-Fe/Al e/ou vivianita (Hinsiger 2001), em baixos valores de pH (4,5) observados nesse sitio (Schmitt 2006). A vivianita (Figura 8) forma-se em condições anaeróbicas, típicas de ambientes lacustres com disponibilidade de Fe^{2+} . Os baixos valores de umidade em consonância com a intensa evaporação nessa área podem explicar o lento crescimento da *A. schaueriana* e o domínio do *S. portulacastrum*, apesar da alta concentração de P nas folhas, e significativas concentrações de P-biodisp. Locais onde os valores da salinidade são altos, a vegetação de mangue arbórea pode ser atrofiada e/ou ausente, ou substituída por espécies resistentes a situações extremas (Adam 1990).

À medida que os sedimentos tornam-se mais úmidos, há o domínio da vegetação arbórea. As espécies de *A. schaueriana* e *A. germinans* estabelecem-se em bosques distintos, evidenciando a dominância da *A. schaueriana* em sedimentos mais salinos ($76,18 \pm 7,5$), enquanto que a *A. germinans*, domina na zona de menor salinidade ($47,3 \pm 1,7$).

A correlação inversa entre P-biodisp. e umidade na zona de floresta ($r = -0,64$, $n=40$, $p < 0,01$) nos sítios arbóreos reflete a mesma tendência ao longo do perfil de inundação. A disponibilidade do fósforo nessa transeção mostrou maior associação com a matéria orgânica, através da correlação ($r = 0,67$, $n=40$, $p < 0,01$), o que sugere a ação de processos biológicos atuando na disponibilidade do fósforo, como por exemplo, ácidos orgânicos de baixo peso molecular, liberado pelas raízes (Lovley & Chaplle 1995) A estabilidade dos compostos orgânicos depende da natureza e de sua interação com a fração mineral, pois estes mesmos compostos são usados como fonte de carbono e elétrons pelos microrganismos, cujo resultado é a sua mineralização e disponibilidade de fósforo às plantas (Cross & Schilesinger 1995).

A similar qualidade da liteira, composta principalmente de folhas de *Avicennia*; facilmente decompostas (Hinsiger 2001), menor interferência da macrofauna bêntica, e alta taxa de decomposição da MO associada a sedimentos colonizados por *Avicennia* (Lacerda et al. 1995), pode explicar a discreta variação da MO na parte arbórea da transeção. Porém, ao longo de todo o perfil topográfico a significativa correlação entre a umidade e MO ($r = - 0,67$, $n=40$, $p < 0,01$) reflete a maior taxa de decomposição nas zonas menos inundadas, em condições de sedimentos óxicos do Campo arbustivo.

Ao longo de toda transeção, a contribuição de P (36 %), salinidade (32 %) e umidade (18 %), na discriminação entre o Campo arbustivo e o bosque de *A. schaueriana* e herbácea (Tabela 49) mostra a influência do *S. portulacastrum* na concentração de P nos sedimentos do Campo arbustivo em situações de estresse salino e hídrico.

A contribuição de 70 % da umidade na separação entre o campo arbustivo e os bosques monoespecíficos de (*A. schaueriana* e *A. germinans*) pode estar relacionado a diferenças nas condições físico-químicas de seus substratos, em função de diferentes FI A menor contribuição da salinidade na separação dos sítios arbóreos colonizados por *A. schaueriana* (bosque de *A. schaueriana* e herbácea; bosque de *A. schaueriana* e bosque de *A. germinans*) indica a habilidade das árvores do gênero de *Avicennia*, em sobreviver em ambientes de alta salinidade.

A menor contribuição da MO pode estar relacionada à similar qualidade da liteira composta por folhas de *Avicennia* em substratos, com elevado teor de salinidade.

6.2.2.2 Umidade/Salinidade/Estrutura da Floresta

O desenvolvimento de um bosque jovem em crescimento é indicado pela correlação entre o DAP e a altura das árvores ($r=0,91$, $n=40$, $p<0,05$), ao longo do gradiente de inundaç o. O aumento do gradiente de altura e DAP (Tabela 26), ao longo do perfil de inundaç o s o corroborados pelas correla es entre a umidade e DAP ($r=0,93$, $n=40$, $p<0,05$) e umidade e altura ($r=0,89$, $n=40$, $p<0,05$), que indica um bosque bem desenvolvido em sua estrutura, em termos de altura, DAP e  rea basal (Tabela 26) na zona de maior freq ncia de inundaç o, bosque de *A. germinans*.

Neste bosque a DoR e VI de *A. germinans* est  numa rela o positiva com seus valores de DAP e altura (Tabela 34) (Figura39). Essa hip tese   apoiada pela boa correla o entre DAP e P-folhas ($r=0,74$, $n=40$, $p<0,05$) e altura e P-folhas ($r=0,76$, $n=40$, $p<0,05$) que mostra o f sforo associado ao estado nutricional desta esp cie;

A significativa correla o inversa entre a umidade e salinidade ($r= -0,79$ $n=40$, $p<0,05$), mostra a menor influ ncia da  gua de inundaç o na eleva o do sitio, o que propicia maiores valores de salinidade na  gua intersticial e condi es de hipersalinidade. Nos locais onde os valores da salinidade s o altos, ocorre diminui o da altura e da biomassa da vegeta o de mangue (Cintr n et al. 1978), (Lara & Cohen 2006), (Sherman et al. 2003).

Estudos pr vios consideram que a menor altura das  rvores de *Avicennia* ao longo do gradiente de salinidade provavelmente, pode estar refletindo o uso conservativo da  gua com altera o na taxa de respira o e transpira o nas folhas dessa esp cie (Sobrado 1999) e (Sobrado 2000), resultando na diminui o da condutividade estomatal, menor taxa fotossint tica e redu o da concentra o de CO₂ intracelular em suas folhas, reflete a diminui o da biomassa a rea (Lin & Sternbeg 1992 a b), (Ball & Farquhar 1984a b); (Ball 1988).

Para valores acima de 50% da  gua do mar v rios autores encontraram diminui o na taxa de crescimento em plantas de mangue (Clough 1985) e (Ball 1996). V rios fatores s o requeridos para o crescimento das plantas, tais como luz, CO₂,  gua e nutrientes mineral (Marschner 1995).

6.2.2.3 Umidade e Capacidade de troca catiônica (CTC)

Na transecção 2, a CTC não apresentou nenhuma tendência com o mineral esmectita, porém significativas correlações foram observadas entre a CTC com a umidade ($r = -0,53$, $n = 20$, $p < 0,01$.) e entre a CTC e a MO ($r = -0,67$, $n = 20$, $p < 0,01$). Porém, o comportamento da capacidade de troca catiônica foi claro. O maior valor médio foi observado na zona de maior frequência de inundação, no bosque de *A. germinans* ($122 \pm \text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$), enquanto o Campo arbustivo registrou menores, mas significativos valores ($114 \pm \text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$).

Esta floresta é colonizada principalmente pelo gênero da *Avicennia*, por isso, a decomposição da serapilheira, composta em grande parte por folhas de *Avicennia*, ricas em nitrogênio pode contribuir com a presença de compostos de nitrogênio para estes sedimentos (Naidoo 1989) e (Schmitt 2006).

Em sedimentos anaeróbicos, o NH_4^+ é a principal forma de nitrogênio disponível para as plantas (Ponaperuma 1972), (Robertson & Alongi 1992); (Kirk 2003); assim, a raiz absorve um excesso de cátions (NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++}) sobre ânions (H_2PO_4^- , Cl^- , SO_4^{--}) aumentando o valor da CTC (Russel 1973), (Marschner 1995), (Kirk 2003). No processo de oxidação das raízes da *Avicennia* o H^+ desprendido mantém a neutralidade elétrica, além de promover a diminuição no pH nos sedimentos (Kirk 1999).

Embora tenha sido observado um comportamento inverso da CTC com a MO, o crescimento das árvores foi correlacionado positivamente com a capacidade de troca catiônica nos sedimentos, indicado pela tendência da correlação entre altura e CTC ($r = 0,60$, $n = 20$, $p < 0,01$). A presença de significativos percentuais da caulinita e esmectita sugere um importante reservatório de nutrientes para as plantas (Igwe et al. 2004), que são liberados com o aumento do gradiente de inundação (Kirk 2003), como indicou a tendência da correlação entre a CTC e umidade ($r=0,53$, $n=20$, $p<0,01$). Redução do ferro estrutural dos argilominerais causa um aumento na carga negativa da superfície da argila, resultando no aumento da CTC (Stucki et al. 1990) e Kirk (2003).

6.2.3 Platô herbáceo

Nesse sitio, os baixos teores de nutrientes aliados a sedimentos arenosos, com baixo teor de matéria orgânica e condições de hipersalinidade (125), parece limitar o crescimento da espécie arbustiva de *A. schaueriana* e a colonização da vegetação herbácea. Ambientes arenosos, de alta porosidade e permeabilidade, com altas temperaturas e ventos constantes, são apontadas como a causa de elevada evaporação, contribuindo para o aumento da salinidade do sedimento (Scarano 2002) e (Pammenter 1984).

Nesta zona os poucos indivíduos amostrados mostram variação com a frequência de inundação e na aquisição e/ou eficiência na utilização dos nutrientes. A concentração de P-folhas, nessa espécie, correlaciona-se diretamente com a sua altura ($r = 0,90$, $n = 15$, $p < 0,01$) e mostra o efeito nutricional do P nessas pequenas plantas. Atividades metabólicas dessa espécie podem influenciar a absorção de P e seu acúmulo na parte aérea (Fabres et al.1987).

O estado energético da água na planta resulta da interação da demanda evaporativa atmosférica com o potencial de água no sedimento, densidade e processos fisiológicos. A perda da água, por meio da transpiração, pode ser controlada pelo fechamento dos estômatos, e consequente diminuição da condutância estomática. À medida que o conteúdo de água diminui, os solutos ficam mais concentrados e a membrana plasmática torna-se mais espessa. Dessa forma, a carência hídrica limita a expansão foliar e reduz o consumo de carbono e de energia e inibe o crescimento das plantas (Kramer 1969).

Estudos recentes mostram que espécies mais tolerantes ao sal, como as do gênero de *Avicennia*, são mais eficazes no uso eficiente da água. O custo de carbono da captura da água aumenta com a salinidade e é maior nas espécies mais tolerantes ao sal (Ball 1988 b) e (Ball 1996). O uso conservativo da água pelas folhas e o alto custo do ganho do carbono da água pelas raízes pode contribuir para o enriquecimento da tolerância ao sal, mas a um custo da taxa de crescimento O efeito negativo da salinidade no ganho do carbono foliar é maior em zonas de alta luminosidade, devido às condições limitadas da fotossíntese e condutância estomatal (Ball 1988) e (Pierzynsky et. al 2005). A zona ocupada pela vegetação herbácea é principalmente constituída por *S. portulacastrum* e *S. virginicus*; enquanto a *B. maritima* é quase ausente. O *S. portulacastrum* apresentou maior dominância (14) em relação ao *S. Virginicus* (3).

A adaptação fisiológica do *S. portulacastrum* possibilita mudança fotosintética de C₃ para CAM (Scmitt 2006), que é comum em muitas plantas suculentas (Werner & Stelzer 1990) e (Adams 1993). Esse mecanismo pode explicar a maior resistência do *S. portulacastrum* ao estresse salino.

A espécie *B. Maritima*, quase ausente nesse sitio, apresentou elevada concentração de P em seus tecidos (raízes, caule e folhas), sugerindo influência na restauração de substratos no ambiente estudado. Elevadas concentrações de P nos compartimentos do *Sesuvium* (raízes, caule e folhas) podem estar relacionados à simbiose micorrizítica encontradas nessa planta (Scmitt 2006).

6.2.3.1 Capacidade de troca catiônica

A diminuição na captura de nitrogênio inorgânico em sedimentos com alta salinidade, tem sido atribuída à competitiva inibição de íons amônio e potássio por sódio. Porém, os valores da CTC nesse sitio são bastante significativos ($40 \pm 7 \text{ cmol.Kg}^{-1}$), mesmo em teores bem reduzidos de matéria orgânica (3%).

Apesar do elevado percentual da fração areia (50 %), a fração argila (60%) foi bem representada por altos teores dos argilominerais caulinita e esmectita o que sugere predominante influência de sais adsorvidos, como o sódio nos sitios de troca desses minerais.

6.2.4 Transecção 1, Transecção 2 e Platô herbáceo

Ao longo do gradiente topográfico a diminuição da frequência de inundação é refletida na redução do teor de umidade e elevação dos valores de salinidade. Nessa escala espacial, a textura do sedimento torna-se mais grosseira e a concentração dos nutrientes diminuiu. A cobertura da vegetação muda de uma floresta exuberante para uma área ocupada por indivíduos arbustivos e vegetação herbácea halófitas

Em T1 a espécie dominante a *R. mangle* apresenta melhor desenvolvimento em sedimentos com granulometria siltica-arenosa a níveis de salinidade (35,46), 54% do valor

máximo da salinidade da água da maré de enchente no estuário do rio Caeté, registrada por Cavalcante Segundo (2007),

Na transecção 2, condições de hipersalinidade condicionam a dominância do gênero de *Avicennia*, que apresenta maior desenvolvimento nas zonas de menor salinidade (47,30), onde predominam sedimentos arenosos a siltico-arenosos. Nessa zona, a espécie de *A. germinans* é dominante. Com o aumento da salinidade, a espécie de *A. schaueriana* avança para uma zona colonizada principalmente por espécies herbáceas de *S. portulacastrum* e *S. virginicus* e *B. Marítima*, onde se estabelece no tamanho arbustivo, em valores médio de salinidade intersticial elevado ($98,62 \pm 24,5$). Nesta zona o *S. portulacastrum* é a herbácea dominante (70%).

No platô herbáceo, um pequeno desvio topográfico ocasiona variação na disponibilidade de nutrientes e aquisição para as plantas. Porém, elevados valores de salinidade (125) a cobertura da vegetação herbácea diminui e a dominância *S. portulacastrum* decresce

Numa área intermaré, entretanto, gradiente de salinidade sozinho não explica o estabelecimento das espécies no ambiente de manguezal. Características dos sedimentos como MO combinados com a frequência de inundação, nutrientes e diferenças interespecíficas de adaptação da vegetação de mangue, em sedimentos submergidos são importantes determinantes a serem considerados.

Os resultados da Análise Discriminante identificaram o P-total seguido da MO como as variáveis que mais contribuíram para a separação dos sítios estudados (Tabela 59).

O P-total apresentou uma significativa correlação com a umidade ($r = 0,87$; $n = 95$, $p < 0,01$) e o desenvolvimento da floresta como mostram as correlações entre altura ($r = 0,89$; $n = 95$, $p < 0,01$) e DAP ($r = 0,45$; $n = 95$, $p < 0,01$).

Em T1, o P-total é altamente correlacionável com o P-biodisp. e ao conteúdo de P nas folhas das espécies de *R. mangle* e *A. germinans*, predominantes nessa floresta, refletindo o estado nutricional das plantas e a produtividade do bosque. As condições reductoras dos sedimentos com maior teor de umidade conferem também maior disponibilidade de fósforo nos sedimentos.

A dinâmica do fósforo nesse perfil topográfico, associado principalmente a formas minerais de P-Fe/Al, é importante para o desenvolvimento das espécies de mangue e a produtividade da floresta, com maior poder de discriminação desta transecção entre os sítios T1 e T2, e igualmente entre o T1e PHb. T2, o P-biodisponível encontra-se correlacionado a MO, porém, inversamente

correlacionado a P-org., sugerindo menor mineralização deste a formas inorgânicas. O maior teor da MO nesse sitio quando comparado a PHB, favorece a disponibilidade de fósforo para as plantas, pois, compostos orgânicos são usados como fonte de carbono e elétrons pelos microrganismos, cujo resultado é a sua mineralização e disponibilidade de fósforo às plantas. Neste sitio, o P-org., represententa a fração do P-total que melhor se correlacionou com a altura das árvores. Aí, o papel da MO na disponibilidade de P para a nutrição das plantas foi importante na discriminação deste sitio com o PHb.

A MO como a segunda variável em ordem de importância na discriminação dos sítios amostrados; reside na liberação de importantes somas de cátions trocáveis associados tanto à fração mineral, quanto à orgânica durante o processo de decomposição.

O decréscimo da CTC com o aumento da fração granulométrica e simultânea diminuição da MO, ao longo do perfil topográfico, corrobora estudos anteriores que atribuem um comportamento linear e positivo desse parâmetro a sedimentos com granulometria fina e rica em matéria orgânica (Salomons & Gerritze 1981), (Brady 1986), (Sposito 2008).

Por outro lado, a MO mostra estar associada às frações de P (P-total, P-inorg e P-biodisp.), porém, mostra baixa correlação com a umidade, o que pode ser atribuído à lenta taxa de decomposição e exportação da matéria orgânica nas áreas com maior frequência de inundação.

A influência da FI nas interações biogeoquímicas da relação sedimento/planta parece determinar o estabelecimento e sobrevivência da vegetação de mangue nas áreas estudadas ao longo planície de Bragança, como predita também em períodos de longa duração devido a instabilidade da variação do nível do mar na península de Bragança.

O modelo apresentado através das funções discriminantes (equações: 37, 38 e 39) para os sítios amostrados podem ser corretamente utilizadas dentro da faixa de acerto estabelecido em cada sitio.

7 CONCLUSÕES

Os sedimentos de T1 e T2 indicam zonas de deposição lenta, enquanto no Platô herbáceo, altos níveis de areia sugere formação de paleoduna com intenso retrabalhamento eólico de areia e entrada de sedimentos finos pela maré. A mineralogia principal e a composição química dos elementos maiores e traços indicam forte influência dos sedimentos e solos da Formação Barreiras sobre a gênese dos sedimentos dos manguezais e a influência marinha na composição química destes.

A alta correlação da frequência de inundação com a umidade nos sítios amostrados sugere, que na época de pouca chuva, as águas da maré contribuem para o controle da umidade, nos sedimentos do manguezal de Bragança.

Em T1, o elevado teor de umidade nos sedimentos favorece a disponibilidade do fósforo nos sedimentos que se mostra altamente correlacionável com o conteúdo de fósforo nas folhas, refletindo o estado nutricional das espécies de *R. mangle* e *A. germinans*. Essa tendência reflete-se positivamente na altura das árvores, área basal e volume no interior dos bosques e ao longo da transecção.

A maior capacidade de troca catiônica (CTC) neste sítio indica a influência da matéria orgânica misturada à fração argila. O elevado percentual de esmectita sugere importante reservatório de nutrientes (cátions trocáveis) para o estabelecimento e nutrição das plantas do manguezal de Bragança, devido à alta capacidade de troca catiônica deste mineral. Do mesmo modo, a tendência positiva da caulinita, com a altura das árvores mostra a sua importância como fonte de nutrientes nos sedimentos neste manguezal.

Em T2, a fraca correlação entre a umidade e o P-total demonstra pouca variação da concentração desse elemento ao longo do gradiente de inundação. Fato este possivelmente relacionado à alta capacidade da espécie de *A. germinans* oxigenar suas raízes, imobilizando significativas quantidades de fósforo em sua rizosfera.

Embora tenha sido observado um comportamento inverso da CTC com a MO, o crescimento das árvores foi relacionado com a capacidade de troca catiônica nos sedimentos, indicado pela tendência positiva da correlação entre altura das árvores e CTC. Neste sítio, a presença de significativos percentuais de esmectita e caulinita, sugerem substancial fonte de nutrientes para as plantas que são liberados com o aumento da frequência de inundação.

O baixo valor de umidade nos sedimentos em concordância com a intensa luminosidade, evaporação e alta salinidade na zona do Campo arbustivo, podem explicar a baixa altura da *A. schaueriana* e o domínio da halófita *S. portulacastrum*. Mesmo a vegetação arbustiva de *A. schaueriana* apresentar alta concentração de P em suas folhas e significativas concentrações de P-biodisponível em seus sedimentos, comparáveis as condições ambientais dos indivíduos arbóreos de *A. germinans* na zona frequentemente inundada dessa transecção.

O domínio da halófita herbácea *S. portulacastrum* no Campo arbustivo é favorecido por valores extremos de salinidade e luminosidade. A elevada concentração de P em suas raízes, caule e folhas sugerem que essa planta, assim como a *B. marítima*, apesar de baixa dominância desta última, influencia na restauração e ciclagem do P nos sedimentos desse sítio.

Elevadas concentrações de P nos compartimentos do *Sesuvium* (raízes, caule e folhas) podem estar relacionados à simbiose micorrizítica encontradas nessa planta. A espécie *B. Marítima*, quase ausente nesse sítio, apresenta concentração de P em seus tecidos (raízes, caule e folhas) superior ao apresentado em T2, sugerindo grande retenção de P por essa espécie em ambientes de alto estresse salino.

No platô herbáceo, os baixos teores de nutrientes aliados a sedimentos arenosos, com reduzido teor de matéria orgânica e condições de hipersalinidade, parecem limitar o crescimento da espécie arbustiva de *A. schaueriana* e a colonização da vegetação herbácea.

Ao longo da planície, o padrão de vegetação distribuídas em T1, T2 e PHb, esta sujeito ao regime de inundação similar ao observado no interior da floresta para estes sítios separadamente. Assim, embora a umidade não seja a variável mais importante na discriminação destes ao longo da planície, é ela que influencia a disponibilidade de nutrientes (como o fósforo e a CTC), a diluição de sais na água intersticial, e condições favoráveis para atividades microbiais. Portanto, todos esses processos interligados favorecem ou inibem o estabelecimento da vegetação ao longo do gradiente topográfico e de inundação.

A análise discriminante permitiu caracterizar os bosques por meio de funções que permitem identificar as variáveis segundo o grau de importância na discriminação dos sítios, além de possibilitar a alocação de novas variáveis em cada bosque.

Os modelos apresentados pela Análise Discriminante nas transecções amostradas no interior da floresta de manguezal refletem a resposta da planta às condições ambientais do substrato em que se estabelecem, em função das variações da FI ao longo de um perfil

topográfico, evidenciado pela importância da umidade na discriminação dos bosques analisados, tanto em T1 quanto em T2.

A influência da FI nas interações biogeoquímicas da relação sedimento/planta parece influenciar no estabelecimento e distribuição das espécies de mangue para o interior da floresta e também ao longo da planície. A topografia do terreno mostra ser um fator de grande importância na modificação dessa variável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACTLABS Group Website Canadian Schedule of Services and Fees. 2000. Disponível em: <http://www.actlabscom/docs/Service%20Guide%20-%20Canada%20-Oweb.pdf>. Acesso em nov de 2008.

ADAIME, R. R. 1987. Estrutura, produção e transporte em um manguezal. In: SIMPÓSIO ECOSISTEMA DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA, 1987, São Paulo. Síntese de conhecimentos. São Paulo, *Acad. Ciência*, **1**:80-99.

ADAIME, R, R. 1985. *Produção do bosque de mangue da gamboa Nóbrega, Cananéia Brasil*. São Paulo/SP: USP. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 255p.

ADAM, P. 1990. *Saltmarsh Ecology* Cambridge. University Press. Cambridge, England 445p

ALLEN, S.E. 1989. Analysis of vegetation and other organic materials. In: Allen, S.E. (Ed.) *Chemical analysis of ecological materials*. Blackwell Scientific Publications: Australia. pp. 46-60.

ALMEIDA, S. S. 1996. Estrutura florística em áreas de manguezais paraenses: evidências da influência do estuário amazônico. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências da Terra*, **8**:93-100.

ALONGI, D. M.; BOTO, K. G.; ROBERTSON, A.I. 1992. Nitrogen and Phosphorus Cycles. In: Robertson A.I. and Alongi D.M. (Eds). *Tropical Mangrove Ecosystems*. American Geophysical Union Washington, DC. 329p.

ALONGI, D. M.; CHRISTOFFERSEN, P.; TIRENDI, F. 1993. The influence of forest type on microbial nutrient relationships in tropical mangrove sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **171**: 201-223.

ANDERSON, D.W. & COLEMAN, D.C. 1985. The dynamics of organic matter in grassland soils. *Journal of Soil Water Conservation*, **40**, 211-216.

ARAI, M.; ROSSETI, D.F.; GÓES, A. M. 1988. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, 1988. *Anais*. Belém, SBG. **2**.738-752.

ARAI, M., TRUCKENBRODT, W. NOGUEIRA, A.C.R., GOÉS, A.M. ; ROSSETTI, D.F. 1994. Novos dados sobre estratigrafia e ambiente deposicional dos sedimentos Barreiras, NE do Pará. In: IV SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, Belém. *Anais*, Belém: SBG/NO. Boletim de Resumos Expandidos. p. 185-187.

ASHTON, E.C. 2002. Mangrove sesarimid crab feeding experiments in Peninsular Malaysia. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **273**, 97-119.

- BAGO, B.; PFEFFER, P.E. & SHACHAR-HILL, Y. 2000. Carbon Metabolism and Transport in Arbuscular Mycorrhizas. *Plant Physiol.* **124**:949-958.
- BALL, M. C. & FARQUHAR, G. D. 1984a: Photosynthetic and stomatal responses of grey mangrove, *Avicennia marina*, to transient salinity conditions. *Plant Physiology*, **74**: 7–11.
- BALL, M. C. & FARQUHAR, G. D. 1984b: Photosynthetic and stomatal responses of two mangrove species, *Aegiceras corniculatum* and *Avicennia marina*, to long term salinity and humidity conditions. *Plant Physiology*, **74**: 1–6.
- BALL, M. C. 1988a. Ecophysiology of mangroves. *Trees*, **2**: 129–142.
- BALL, M. C. 1988b. Salinity tolerance in the mangroves, *Aegiceras corniculatum* and *Avicennia marina*. I. Water use in relation to growth, carbon partitioning and salt balance. *Australian Journal of Plant Physiology*, **15**: 447–464.
- BALL, M. C. 1996. Comparative ecophysiology of mangrove forest and tropical lowland moist rainforest. In: S.S.Mulkey, R.L. Chagdon & A.P.Smith (Eds.). *Tropical Forest Plant Ecophysiology*. Chapman & Hall. New York. p. 464-496.
- BEGG, C.B.M.; KIRK, G.J.D.; MACKENZIE; NEUE, H. U. 1994. Root-induced iron oxidation and pH changes in the lowland rice rhizosphere. *New Phytol.* **128**: 469-477.
- BEHLING, H.; COHEN, M.C.L; LARA, R.J. 2001. Studies on Holocene mangrove ecosystem dynamics of the Bragança Peninsula in Northeastern Pará, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **167**: 225-242
- BEHLING, H.; COSTA, M.L.C. 2004. Mineralogy, geochemistry, and palynology of modern and late Tertiary mangrove deposits in the Barreiras formation of Mosqueiro Island, northeastern Para state, eastern Amazonia. *Journal of South American Earth Sciences*, **17**: 285-295.
- BERGER, U.; GLASER, M.E.L.; Koch, B.P.; KRAUSE, G., LARA, T.J.; SAINT-PAUL, U.; SCHORIES, D.; Wolff, M. 1998. An integrated approach to mangrove dynamics and management. *Journal of Coastal Conservation*, **5**: 125-134.
- BERRÊDO, J.F.; COSTA.M.L. & SPROGENE. M.P.S. 2003. Aluminossilicatos neoformados em manguezais de clima tropical úmido (Costa Nordeste do Estado do Pará). In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA. Belém-Pará. p.265- 270.
- BERRÊDO, J.F. 2006. Geoquímica dos sedimentos de manguezais do Nordeste do Estado do Pará: O exemplo do estuário do Rio Marapanim. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 185p. (Tese de Doutorado).
- BERRÊDO, J.F.; COSTA.M.L & SPROGENE. M.P.S. 2008a. Efeitos das variações sazonais do clima tropical úmido sobre as águas e sedimentos de manguezais do estuário do rio Marapanim, costa nordeste do Estado do Pará. *Acta Amazônica*, **38** (3): 473-482.

- BERRÊDO, J.F. COSTA.M.L. & SPROGENE. M.P.S., SANTOS, J.T. 2008b. Mineralogia e geoquímica de sedimentos dos manguezais da costa amazônica: o exemplo do estuário do rio Marapanim (Pará). *Revista Brasileira de Geociências*, **38** (1): 24-35.
- BENNER, R.; WELIKY, K. & HEDGES, J. I. 1990. Early diagenesis of mangroves leaves in a tropical estuary: Molecular-level analyses of neutral sugars and lignin-derived phenols. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **54**: 1991-2001.
- BIGARELLA, J.J. 1975. The Barreiras Group in the Northeastern Brazil. *Anais de Academia Brasileira de Ciências*. **47**, 365-393.
- BIGARELLA, J.J. BECKER, D.R.; PASSOS, E. 1996. *Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais*. Ed. UFSC. 875p.
- BOEGER, M. R.; WISNIEWSK.C; REISSMANN, C. B. 2005. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de floresta ombrófila densa no sul do Brasil. *Acta bot. bras.*, **19** (1): 167-181.
- BONNEVILLE, S.; CAPPELLEN, P. V.; BEHRENDTS, T. 2004. Microbial reduction of iron (III) oxyhydroxides: effects of mineral solubility and availability. *Chemical Geology*, **212**: 255-268.
- BOTO, K.G. & WELLINGTON, J.T. 1983. Phosphorus and nitrogen nutritional status of a northern Australian mangrove forest. *Mar.Ecol.Prog.Ser.* **11**, 63-69.
- BOTO, K.G. & WELLINGTON, J.T. 1984. Soil characteristics and nutrient status in a northern Austrlian mangrove forest. *Estuaries*, **7**: 61-69
- BRADY, N.C. 1989. *Natureza e Propriedades do Solo*, Livraria Freitas Bastos: São. Paulo, 898p.
- BROWER, J.E.; ZAR, J.E.; ZAR. 1984. J.H. *Field and laboratory methods for general ecology*. 2ed. Wm. C. Brow. 225p.
- BROWN, G. 1972. *The X-ray identification and crystal structures clay minerals mineralogical*. London, Society Clay Minerals Groups. 544 p.
- CAMARGO,O.A; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A; VALADARES, J.M.A.S. 1986. Método de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas: Instituto Agrônomo. *Boletim Técnico*, 106. 94p
- CARVALHO, M.L. 2002. *Aspectos da produção primária dos bosques de mangue do Furo Grande, Bragança*. Universidade Federal do Pará. Campus of Bragança.181p. (Tese de Doutorado).
- CAVALCANTE SEGUNDO, G. H. 2007. *Processos oceanográficos na região costeira e estuarina do rio Caeté*. Universidade Federal Fluminense. 139p. (Tese de Doutorado).

CAVALIERI, A.J. 1983. Proline and Glycinebetaine Accumulation by *Spartina alterniflora* Loisel. in Response to NaCl and Nitrogen in a Controlled Environment. *Oecologia*: **57**:20-24.

CHAPIN, S.F. & CLEVE. V.C. 1989. Approaches to studying nutrient uptake, use and loss in plants. In: Percy, R.W., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A. and P.W. Rundel. (Eds.). *Plant Physiological Ecology. Field methods and instrumentation*. 185-207p.

CHAPMAN, V.J. 1975. Mangrove biogeography. In. PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOLOGY AND MANAGEMENT OF MANGROVES, vol.1.G.E.Walsh, S.C.Snedaker & H.J.Teas (Eds.). Gainsville, University of Florida Press (**20**): 3-22.

CHAPMAN, V.J. 1976. *Mangrove Vegetation*. 359p. **Falta edição.**

CINTRÓN, G.; LUGO, A.E.; POOL, D.J.; MORRIS, G. 1978. Mangroves of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. *Biotropica* **10**, 110-121.

CINTRÓN, G. & SCHAEFFER-NOVELLI. Y. 1984. Methods for studying mangrove structure. In: *The mangrove ecosystem: research methods*. SNEDAKER, S.C. & SNEDAKER J.G. (Eds.). UNESCO. p 91-113.

CLARK, M.W.; Mc CONCHIE, D.; LEWIS, D.W.; SAENGER, P. 1998. Redox stratification and heavy metal partitioning in *Avicennia*-dominated mangrove sediments: a geochemical model. *Chemical Geology*. **149**, 147-171

CLOUGH, B. F. 1985: Photosynthesis in mangroves. In: Bhosale, L.J. (Ed.). Proc. Natl. Symp. Biol.Util. Cons. Mangroves. Shivaji University, Kolhapur, India, p. 80-88.

COHEN, M.C.L.; LARA, R.J.; SZLAFASZTEIN C.; DITTMAR, T. 1999. Mangrove inundation affecting the phosphate concentration in the tidal creek waters. *MADAM Projecto 5 th International Conference*.Belém,93p.

COHEN, M.C.; LARA,R.J.; SZLAFSZTEIN.C.F.; DITTMAR,T. 2000. Digital Elevation Models as a GIS Tool for The Analysis of Mangrove Coasts. Amazon Region, Brazil – *International journal of Enviromental Creation*. **3**(1).

COHEN, M.C. & LARA, R. J. 2003. Temporal changes of mangrove vegetation boundaries Amazonia. Aplicacion of GIS and remote sensing techniques. *Wetlands Ecology and Management*, **11**: 223-231.

COHEN, M.C.; LARA,R.J.; SZLAFSZTEIN.C.F.; DITTMAR,T. 2004. Mangrove inundation and nutrient dynamics from a GIS perspective. *Wetlands Ecology and Management*, **12**: 81-86.

COHEN, M.C.L.; SOUZA FILHO, P.W.M.; LARA, R.J.; BEHLING, H.; ANGULO, R.J.,2004. A model of Holocene mangrove development and relative sea-level changes on the Bragança Peninsula (Northern Brazil). *Wetlands Ecology and Management*, **13**, 433-443.

COHEN, M.C.L.; BEHLING, H.; LARA, R.J. 2005b. Amazonian mangrove dynamics during the last millennium: The relative sea-level and the Little Ice Age. *Review of Palaeobotany & Palynology*, **136**: 93-108.

CORDEIRO, C.C.; MENDOZA, U.N.; LARA, R. J. 2003. Mangrove zonation and Phosphorus distribution in sediment along an inundation gradient in Bragança, north Brazil. In: X CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CIENCIAS DEL MAR. San Jose, Costa Rica.

CORDEIRO, C.C.; MENDOZA, U.N.; LARA, R.J. 2007. Relações C/N, C/P e N/P indicando Fonte e Mineralização da Matéria Orgânica no Manguezal de Bragança, Norte do Brasil. In: XII CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CIENCIAS DEL MAR. Florianópolis-SC.

COSTA, M. L. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, **21** (20): 146-160.

COSTA, J. B. S.; BORGES, M.S.; IGREJA, H.L.S.; PINHEIRO, R.V.L. 1991. Aspectos da tectônica Cenozóica na Região do Salgado, litoral nordeste do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3. Belém, 1991. *Anais*. Belém. SBG-Núcleo Norte. P.156-165.

COSTA, M.L.; BEHLING, H.; BERRÊDO, J. F; SIQUEIRA, N.V.M. 2004. Mineralogical, Geochemical and Palynological Studies of Late Holocene Mangrove sediments from Northeastern Para State, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*. **34**(4), 479-488.

COSTA NETO, S.V.; SENNA, C.; LOBATO, L.C. 2000. Estrutura e diversidade de bosques do manguezal da baía de Marapanim, Pará, Brasil. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE ESTUÁRIOS E MANGUEZAIS, 1. Recife, ISME.

CROSS, A.F. & SCHLESINGER, W.H. 1995. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma*, **64**:197-214.

CULLEN, L. Jr.; RUDRAN, R.; VALADARES-Padua (Organizadores) – *Método de estudo em Biologia da Conservação Manejo da Vida Silvestre*. 245p.

CULLERS, R.L. & GRAF, J. 1983. Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: intermediate and silicic rocks, ore petrogenesis. In: Henerson, P. (Ed.) *Rare-Earth Geochemistry*. Amsterdam, Elsevier.p.275-297.

CUNDELL, A.M.; BROWN, M.S.; STANDFORD, R.; MITCHELL, R. 1979. Microbial degradation of *Rhizophora mangle* leaves immersed in the sea. *Estuarine and Coastal Marine Science*, **9**: 281-286.

CUZZUOL, G.R.F. & CAMPOS, A. 2001. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do Rio Mucuri, Bahia, *Revista Brasil. Bot.*, **24**(2): 227-234.

DAVIS, J.C. 1989. *Statistics and Data Analysis in Geology*. 646p.

- DIELE, K. 2000. Life History and Population Structure of the Exploited Mangrove Crab *Ucides cordatus* (L.) (Decapoda: Brachyura) in the Caeté Estuary, North Brazil. In ZMT-contributions. Zentrum für Marine Tropenökologie, Bremen. n° 9.
- DITTMAR, T. 1999. *Outwelling of organic matter and nutrients from mangrove in North Brazil: evidence from organic tracers and fluxes measurements*. Zentrum für Marine Tropenökologie. Bremen Universität. Bremen, Germany. 206 p. (Ph.D. Thesis)
- DITTMAR, T. & LARA, R. J. 2001. Driving forces behind nutrient and organic matter dynamics in a mangrove tidal creek in North Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **52**:249-259
- DITTMAR, T., LARA, R. J. 2001. Molecular evidence for lignin degradation in sulfate-reducing mangrove sediments (Amazonia, Brazil). *Geochim. Cosmochim. Acta*, **65** 1417–1428.
- DITTMAR, T., LARA, R. J. 2001a. Driving forces behind nutrient and organic matter dynamics in a mangrove tidal creek in north Brazil. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **52**: 249–259.
- DITTMAR, T., LARA, R. J. 2001b. Molecular evidence for lignin degradation in sulfate reducing mangrove sediments (Amazoônia, Brazil). *Geochim. Cosmochim., Acta* **65**: 1403–1414.
- DITTMAR, T., LARA, R. J. 2001c. Do mangroves rather than rivers provide nutrients to coastal environments south of the Amazon River? Evidence from longterm flux measurements. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **213**: 67–77.
- DITTMAR, T.; LARA, R. J.; KATTNER, G. 2001. River or mangrove? Tracing major organic matter sources in tropical Brazilian coastal waters. *Mar. Chem.*, **73**: 253–271.
- DITTMAR, T.; HERTKORN, N.; KATTNER, G.; LARA, R. J., 2006. Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans. *Glob. Biogeochem. Cycles*. **20**, doi:10.1029/2005GB002570.
- DJUWANSAH, M. 1990. *Mangroves de la zone equatorial. Etude sedimentologique, mineralogique et geochemique*. Strasbourg. Universite Louis Pasteur. U.F.R des Sciences de la Vie et de la Terre- Institut de Geologie. 124p. (Docteur de Specialite).
- DOV. P. 1994. *Guia Ilustrado do Manguezal Brasileiro*. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo-SP. USP.82p
- DUKE, N.C. 2001. Gap creation and regenerative processes driving diversity and structure of mangrove ecosystems. *Wetlands Ecology and Management*, **9**:257-269.
- ENSMINGER I. 1996. *Hydrologische Veränderungen am Canal Clarín und ihre Bedeutung für die Regeneration salzgeschädigter Mangrove*. Diplomarbeit. Justus-Liebig-Universität Gießen, Gießen. Germany. 63p.

EPSTEIN, 1975. *Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectiva*. Rio de Janeiro Livros Técnicos e Científicos: São Paulo, Ed. Da Universidade e São Paulo.360p.

FABRES, A. S.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N. F.; CORDEIRO, A. T. Níveis críticos de diferentes frações de P em plantas de alface cultivadas em diferentes solos. *Revista Brasileira de Ciências do solo*, **11**: 51-57.

FARIAS, A.S.C.; FERNANDES, M.E.B; REISE, A. 2006. Comparação da produção de serapilheira de dois bosques de mangue com diferentes padrões estruturais na península Bragantina, Bragança, Pará. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi* (1), **3**: 53-60

FAURE, G. 1998. *Principles and applications of geochemistry: a comprehensive textbook for geology students*. Prentice-Hall, Inc.600p.

FERNANDES, M.E.B. 1997. *The ecology and productivity of mangroves in the Amazon region, Brazil*. Universidade de York, Inglaterra. 214 p.(Tese de Doutorado).

FERNANDES, M.E.B. 1999. Phenological patterns of *Rhizophora* L., *Avicennia* L. and *Laguncularia* Gaertn. F. in Amazonian mangrove swamps. In: Dodd, R.S. (Eds). *Diversity and function in mangrove ecosystems*. Kluwer Academic Publishers. Reprinted in *hydrobiologia*, **413**: 53-62.

FERNANDES, M. E. B. 2003. Produção Primária: Serrapilheira. *Os manguezais da costa norte brasileira*. In: FERNANDES.M.E.B.(Organizador). Fundação Rio Bacanga. Maranhão.142p.

FOLK, R. L. & WARD, W.C. 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentar Petrology*, **27**:3-27.

FRANZINELLI. E. 1982. Contribuição à geologia da costa do Estado do Pará entre a bacia de Curuçá e Maiau In: K.Suguio, M.R.M. De Meis & M.G.Tessler (Eds). ATLAS DO IV SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO DO BRASIL Rio de Janeiro: p305-322.

FRIZANO, J.; VANN, D.R.; JOHNSON, A.H.; JOHNSON, C.M. 2003. Labile phosphorus in soils of forest fallows and primary forest in the Bragantina region, Brazil. *Biotropica*. **35**, 2-11.

FURTADO da C.M. 2000. Estudo dos cátions cálcio, magnésio, sódio, potássio e da salinidade na água intersticial do sedimento do manguezal de Bragança - NE do Pará. Belém: Universidade Federal de Pará. Belém do Pará. Brazil. Centro de Geociências. 87 p. (Tese de Doutorado).

GLEASON, S.M.; EWEL,K.C.;HUE, N. 2003. Soil redox conditions and plant-soil relationships in a micronesian mangrove forest. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, **56**: 1065-1074

GÓES, A.M.; ROSSETTI, D.F.; NOGUEIRA, A.C. R.; TOLEDO, P.M.1990. Modelo deposicional preliminary da Formação Pirabas no nordeste do Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*,.Série Ciências da Terra. Belém, **2**:3-15

- GOMES, C.F. 1988. *Argilas. O que são e para que servem*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. 457p.
- GOMEZ, E.; DURILLON, C.; ROSE, G.; PICOT, M. 1999. Phosphate adsorption and release from sediments of brackish lagoons: pH, O₂ and loading influence. *Wat. Res*, **33**: 2437-2447.
- GRAHAM, A. 1995. Diversification of gulf Caribbean mangrove communities through Cenozoic time *Biotropica*, **27**(1): 20-27.
- GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMMLING, K. 1983. *Methods of seawater analysis*. Nürnberg : Verlag Chemie. 403p.
- GRIM, R. E. 1953. *Clay Mineral*, McGraw-Hill Book Company: New York. 384p.
- GROMET, L.P.; DYMEK, R.F.; HASKIN, L.A.; RANDY, L.K. 1984. The “North american shale composite”: Its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **48**: 2469-2482.
- GUPTA, V.; SATYANARAYANA, T.; GARG, S. 2000. General aspects of mycorrhiza. In: Mukerji, K.G., Chamola, B.P., Singh, J. (Eds.), *Mycorrhizal Biology*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, p.27-44.
- HAYNES, J. I. & STERN, J.H. 1990. Active ion uptake and maintenance of cation-anion balance: A critical examination of their role in regulating rhizosphere pH. *Plant and soil*, **126**: 247-264.
- HERNES, P. J.; BENNER, R.; COWIE, L.G. L.; GOÑI, A.M. A.; BERGAMASCHI, A.B.; HEDGES, J.I. 2001. Tannin diagenesis in mangrove leaves from a tropical estuary: a novel molecular approach *Geochimica et Cosmochimica Acta*, (65), **18**: 3109–3122.
- HESSE, P.R. 1957. The effect of colloidal organic matter on the precipitation of barium sulphate and a modified method for determining soluble sulphate in soils. *Analyst*. **82**:710-712.
- HESSE, P.R. 1961. The decomposition of organic matter in a mangrove swamp soil. *Plant and Soil*. **16** (3): 249-262.
- HESSE, P.R. 1971. *A textbook of soil chemical analysis*. Murray: London. 513 p.
- HINSINGER, P. 2001. Biology availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. *Plant and Soil*, (237), **2**: 173-195.
- IGWE, C.; AZAREI, M.; STAHR. 2004. Chemical properties of Niger floodplain soils, eastern Nigeria, in relation to mineralogy. *Paddy Water Environ*, **2**:51–58
- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2009. Recuperado da Internet em Janeiro de 2009.

- JACKSON, M.L (Ed). 1969. *Soil chemical analysis: an advanced course*. Madison: Chapman & Hall. 894 p.
- JONHSON, R & WICHERN, D. 1992. Applied multivariate statistical analysis, 3 ed. New Jersey: Prentice Hall.315p.
- KIRK, G.J.H. 1999. A model of phosphate solubilization by organic anion excretion from plant roots. *European Journal of Soil Science*. **50**, 369-378.
- KIRK, G. 2003. Effects of flooding and redox conditions on solute diffusion in soil.*European Journal of Soil Science*. **54**, 617-624.
- KIRK, G. 2004. *The biogeochemistry of submerged soils*. John Wiley and Sons: England. 291p.
- KLUTE, A. (Ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogy methods. 2ed. *Madison Society of Agronomy*, p.331-359.
- KRAUSE, G.; SCHORIES, D.; DIELE. K. 2001. Spatial patterns of mangrove ecosystems: the Bragantinian mangrove of Northern Brazil (Bragança, Pará). *Ecotropica*, **7**: 93-107.
- KRISTENSEN, E.; KING, G.M.; HOLMER, M.; BANTA, G.T.; JENSEN, M.H.; HANSEN, K.; BUSSARAWIT, N. 1994. Sulfate reduction, acetate and carbon metabolism in sediments of Ao Nam Bor mangrove, Phuket. Thailand. *Marine Ecology Progress Series*. **109**, 245-255.
- KRAMER , O. J. 1969. *Water Relations of Plants*. New York. Academic Press, 1983, 489p.
- KRONBERG, B.I.; FYFE, W. S.; LEONARDS, O. H. Jr.; SANTOS, A.M. 1979. The chemistry of some Brazilian soils: element mobility during intense weathering. *Chemical Geology*, **24**:211-229.
- KUNZE, G.W. 1965. Pre-treatment for mineralogical analysis. *American Society of Agronomy*. Inc. Publisher, Madison, Wisconsin, p.568-567.
- LACERDA, L.D.; REZENDE, C.E.; JOSÉ, D.M.; FRANSISCO, M.C.F.; WASSERMAN, J.C.; MARTINS, J.C. 1986. Leaf chemical characterization affecting herbivory in a New World mangrove forest. *Biotropica* **18**, 350-355.
- LACERDA, L.D.; CARVALHO, C.E.V.; TANIZAKI, K.F.; OVALLE, A.R.C.; REZENDE, C.E. 1993. The biogeochemistry and trace metal distribution of mangrove rhizospheres. *Biotropica*. **25**, 252-257.
- LACERDA, L.D.; ITTEKOT, V.; PATCHINEELAM, S.R. 1995. Biogeochemistry of mangrove soil organic matter: a comparison between *Rhizophora* and *Avicennia* soils in Southeastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. **40**, 713-720.

- LACERDA, L.D. 1997. Trace metals in mangrove plantas: why such low concentrations? In MANGROVE ECOSYSTEM STUDIES IN LATIN AMERICA AND AFRICA (B. Kjerfve, L.D. Lacerda & H.S. Diop, Eds.). Unesco, Paris. p.171-178.
- LARA, R.J & DITTMAR, T. 1999. Nutrient dynamics in a mangrove creek (North Brazil) during the dry season. *Mangroves and Salt Marshes*. **3**:185-195.
- LARA, R.J. and M.C.L. COHEN. 2003. Sensoriamento remoto. In: FERNANDES.M.E.B.(Organizador). *Os manguezais da costa norte brasileira*. Fundação Rio Bacanga. Maranhão. Brazil. 142p.
- LARA, R.J. 2003. Amazonian Mangroves- A Multidisciplinary Case Study in Pará State, North Brazil: Introduction. *Wetlands Ecology and Management* **11**, 217-221.
- LARA, R. J. & COHEN, M. C. L. 2006. Sediment porewater salinity, inundation frequency and mangrove vegetation height in Bragança, North Brazil: an ecohydrology-based empirical model. *Wetlands Ecology and Management*, **143**:349-358.
- LEEG, J.O. & BLACK, C.A. 1955. Determination of organic phosphorus in soils: II ignition method. *Soil Science Society Proceedings*. **19**, 139-143.
- LIBES, S. M. 1992. *An introduction to marine biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc.: Canada. 715p.
- LIN, G. & STERNBERG, L. d. S. L. 1992a. Comparative study of water uptake and photosynthetic gas exchange between scrub and fringe red mangroves, *Rhizophora mangle* L. *Oecologia*, **90**: 399-403.
- LIN, G. & STERNBERG, L. d. S. L. 1992b. Differences in morphology, carbon isotope ratios, and photosynthesis between scrub and fringe mangroves in Florida, USA. *Aquatic Botany*, **42**: 303-313.
- LIN, G. & STERNBERG, L. d. S. L. 1993. Effects of salinity fluctuation on photosynthetic gas exchange and plant growth of the red mangrove (*Rhizophora mangle* L.). *Journal of Experimental Botany*, **44**(258): 9-16.
- LONARD, R. I. & JUDD F. W. 1997. The biological flora of coastal dunes and wetlands. *Sesuvium portulacastrum* (L.)L. *Journal of Coastal Research*, **13**: 196-104.
- LOVELOCK, C.E.; FELLER, I.C.; MCKEE, K.L.; R. THOMPSON. 2005. Variation in mangrove forest structure and sediment characteristics in Bocas del Toro, Panama. *Caribbean Journal of Science*, **41**: 456-464.
- LOVELOCK, C.E.; BALL, C.M.; CHOAT, B.; ENGELBRECHT, B.M.J.; HOLBROOK, M.; FELLER I.C.. 2006. Linking physiological processes with mangrove forest structure: phosphorus deficiency limits canopy development, hydraulic conductivity and photosynthetic carbon gain in dwarf *Rhizophora mangle*. *Plant, Cell and Environment*, **29**: 793-802.

- LOVLEY, D. R. & CHAPLLE, F. H. 1995. Deep subsurface microbial processes. *Rev Geophys*, **33**: 365-381.
- MARCHAND, C.; LALLIER-VERGÈS, E.; BALTZER, F. 2003. The composition of sedimentary organic matter in relation to dynamic features of a mangrove-fringed coast in French Guiana. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. **56**, 119-130.
- MARCHAND, C.; BALTZER, F.; LALLIER-VERGÈS, E.; ALBÉRIC, P. 2004. Pore-water chemistry in mangrove sediments: relationship with species composition and developmental stages (French Guiana). *Marine Geology*. **208**, 361-381.
- MARSCHNER, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic press: London. 889p.
- MARTINS, F. R. 1991. *Estrutura de uma Floresta Mesófila*. Unicamp. 246p.
- McKEE. K. L.; MENDELSSOHN, I. A.; HESTER. M. W. 1988. Reexamination of pore water sulfide concentration and redox potentials near the aerial roots of *Rhizophora mangle* and *Avicennia germinans*. *American Journal of Botany*, **75**(9): 1352-1359.
- McKEE.K.L.1993. Soil physicochemical patterns and mangrove species distribution reciprocal effects. *Journal of Ecology*, **81**: 477-487
- McLENNAN, S.M. & TAYLOR, S.R. 1991. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends. *Journal Geology*, **99**.
- MEDINA, E., GIARRIZZO.; T., MENEZES, M.; CARVALHO, LM.; CARVALHO, E.A.; PERES, A.; SILVA, B., VILHENA, R.; REISE, A. & BRAGA, F.C. 2001. Mangal communities of the “Salgado Paraense”: Ecological heterogeneity along the Bragança peninsula assessed through soil and leaf analyses. *Amazoniana* **16** (3/4), 397-416.
- MEDINA, E. 1984. Nutrient balance and physiological processes at the leaf level. p.139-154. In: MEDINA, E., Mooney, H.A. and VÁZQUEZ-YÁNEZ, C. 1983. (Eds.). *Physiological ecology of plants of the wet tropics*. Proceedings of an international Symposium held in Oxatepec and Los Tuxtlas, Mexico.
- MEHLIG, U. 2001. Aspects on tree primary production in an equatorial mangrove forest in Brazil. Center of Marine Tropical Ecology. Bremen University, Germany. 155p (Ph.D. Thesis).
- MENDOZA, U. 2007. Dynamics of phosphorus and sulphur in a mangrove forest in Bragança, North Brazil. . Center of Marine Tropical Ecology. Bremen University, Germany. 133p. (Ph.D. Thesis).
- MENEZES, M. 2006. Investigations of mangrove forest dynamics in Amazonia, North Brazil. Zentrum für Marine Tropenökologie. Bremen Universität, Germany. 149p. (Ph.D. Thesis).
- MOORE . D. M. & REYNOLDS R. C. 1989. *X-ray diffraction and the identification and analysis of clays minerals*. New York, Oxford University Press. 332p.

- MUELLER-DOMBOIS & ELLENBERG. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. New York. Ed. Wiley and Sons. 547p.
- NAIDOO, G. 1985. Effects of waterlogging and salinity on plant water relations and on the accumulation of solutes in three mangrove species. *Aquatic Botany*, **22**:133–143.
- NAIDOO, G. 1986. Responses of the mangrove *Rhizophora mucronata* to high salinities and low osmotic potentials. *South African Journal of Botany*, **52**(2): 124–128.
- NAIDOO, G. 1987. Effects of salinity and nitrogen on growth and plant water relations in the mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *New Phytologist*, **107**:317–325.
- NAIDOO, G. 1989. Seasonal plant water relations in a South African mangrove swamp. *Aquatic Botany*, **33**: 87–100.
- NAIDOO, G.; Rogalla, H.; von Willert, D. J. 1998. Field measurements of gas exchange in *Avicennia marina* and *Bruguiera gymnorrhiza*. *Mangroves and Salt Marshes*, **2**: 99–107.
- NAIDOO, G. & von Willert, D. J. 1995. Diurnal gas exchange characteristics and water use efficiency of three salt-secreting mangroves at low and high salinities. *Hydrobiologia*, **295**: 13–22.
- NICKERSON, N.H. & THIBODEAU, F.R. 1985. Association between pore water sulphide concentrations and the distribution of mangroves. *Biogeochemistry*. **1**, 183-192.
- NORDHAUS, I. 2004. Feeding ecology of the semi-terrestrial crab *Ucides cordatus cordatus* (Decapoda: Brachyura) in a mangrove forest in northern Brazil. ZMT Contribution 18, University of Bremen, Bremen, Germany. 198 p. (Ph.D. Thesis).
- ODUM, W. E. & HEALD, E. J. 1972. Trophic analyses of an estuarine mangrove community. *Bulletin of Marine Science*, **22**(3): 671–738.
- ODUM, W.E. 1988. Comparative Ecology of Tidal Freshwater and Salt Marshes. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **19**, 147-176.
- ODUM, W.E. 1988. E.P. *Ecologia*. Editora Guanabara Koogan. Rio de Janeiro-RJ, 434p.
- PATCHINEELAM, S. M. & FIGUEIREDO, A.G. 2000. Preferential settling of smectite on the Amazon continental shelf. *Geo-Marine Letters*, **20**: 37-42
- PENÍNSULA de Bragança. Disponível em: <<http://www.landsat.com.br>>. Acesso em 20 de maio de 2009.
- PESTANA, M.H. & GAJEIRO, J.N. 2000. *Análise de dados para Ciências Sociais.2*. Ed. Lisboa: Edições Silabo. 205p.

- PEZESHKI, S. R.; PAN, S.Z.; De LAUNE, R.D.; PATRICK, W.H. 1988. Sulfide-induced toxicity: Inhibition of carbon assimilation in *Spartina alterniflora*. *Photosynthetica*. **22(3)**, 437-442.
- PEZESHKI, S. R.; DeLAUNE, R. D.; PATRICK, W. H., Jr. 1990: Differential response of selected mangroves to soil flooding and salinity: Gas exchange and biomass partitioning. *Canadian Journal of Forest Research*, **20**: 869–874.
- PIERZYNSKY, G.M.; SIMS, J.T.; VANCE, G.F. 2005. In: *Soil and Environmental Quality*. 3rd ed. 541p.
- PIERZYNSKY, G.M. 1993. Advances in agronomy. *American Society of Agronomy*: New York. p.29-88.
- PIZZARO, M.J.; HAMMERLEY, J.; MAINE, M.A.; SUNE, N. 1992. Phosphate adsorption on bottom sediments of the Rio de la Plata. *Hydrobiologia*. **228**, 43-54.
- PONNAPERUMA, F.N.1972. The chemistry of submerged soil. *Advance Agronomy*, **24**:29-96.
- POOL, D. J.; LUGO, A. E.; SNEDAKER, S, S. C.1975. Litter production in mangrove Forest of southern Flórida and Puerto Rico. In: WALSH, G. E., SNEDAKER, S. C., TEAS, H. J. (Eds). INTERNATIONAL SYMPOSIUM BIOLOGY AND MANAGEMENT OF MANGROVES. FLORIDA. PROCEEDINGS. FLORIDA: IFAS, p. 213-299.
- PROST, M.T.R.C. & RABELO, B.V. 1996. Variabilidade fito-espacial de manguezais litorâneos e dinâmica costeira:ejemplos da Guiana Francesa, Amapá e Pará. *Bol. Mus.Par. Emilio Goeldi*. **8**: 101-121.
- REDDY, K.R. & DeLAUNE, R. 2008. *Biogeochemistry of Wetlands: Science and application*. Taylor & Francis Group. 806p.
- REISE, A. 2003. Estimates of biomass and productivity in fringe mangroves of North-Brazil. Zentrum für Marine Tropenökologie. Contribution 16.University of Bremen. Bremen, Germany. 166p. (Ph.D. Thesis)
- RIBEIRO, F. C. P. 2007. Palinofórmos aquáticos (diatomáceas) em sedimentos lamosos de intermaré da praia de Itupanema, município de Barcarena, Pará. Universidade Federal Rural da Amazônia. 100p. (Dissertação de Mestrado).
- RIGH, D. & MEUNIER, R. 1995. Origin of clays by rock weathering and soil formation. In: VELDE, B., Ed. Origin and mineralogy of clays: clays and the environment, Berlin, Springer. 181p.
- ROBERTSON, A.I.; ALONGI, D.M.; BOTO, K.G. 1992. Food chain and carbon fluxes. In: Robertson, A.I. & Alongi, D.M (Eds.). Tropical Mangrove ecosystems - *Coastal and Estuarine Series* **41**:293-326

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; GOÉS, A.M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. **1**, 25-74.

RUSSEL, E.W.1973. *Soil Conditions and Plant Grow*. Longman. London 849 p.

SÁ, J.H.S.1969. Contribuição a geologia e os sedimentos terciários e quaternários da Região Bragantina. *Boletim do Instituto de Geologia do rio de Janeiro*, **3**:21-36.

SAENGER, P. 2002. *Mangrove Ecology Silviculture and Conservation*. Kluwer Academic Publishers 360p

SALEQUE, M.A. & Kirk, G.J.D. 1995. Root-induced solubilization of phosphate in the rhizosphere of lowland rice. *New Phytology*. **129**, 325-336.

SCARANO, F. R. 2002. Structure, function and floristics relationships of plants communities in stressful habitats marginal to Brazilian Atlantic Rainforest. *Annals of Botany* **90**: 517-524.

PAMMENTER, N.W. 1984. Ecological and physiological aspects of plant communities of the sand dunes of the east coast of Sothern Africa, In RESTIGAS: ORIGEM, ESTRUTURA E PROCESSOS (L.D. Lacerda, D.S.D. Araujo, R. Cerqueira & B. Turq, orgs. CEUFF, Niterói, p. 425-440

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. & CINTRÓN, G.M. 1986. *Guia para estudos de áreas de manguezal: estrutura, função e flora*. Caribbean Ecological Research. São Paulo, Brazil. 150p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, M.G.; ROTHLEDER, A.R.; CARMARGO, T.M.D. 1990. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*. **13**(2):204-218.

SCHMITT, B. B. 2006. Characterisation of Organic Nitrogen Compounds in Sediment and Leaves os a Mangrove Ecosystem in North Brazil. Center of Marine Tropical Ecology. Bremen University, Germany. 204p. (Ph.D. Thesis).

SCHORIES, D.; BARLETTA-BERGAN, A.; BARLETTA, M.; KRUMME, U.; MEHLIG, U., RADEMAKER, V. 2003. The keystone role of leaf-removing crabs in mangrove forests of North Brazil. *Wetl. Ecol. Manag*, **11**, 243–255.

SCHWAMBORN, R & SAINT-PAUL, U. 1996. Mangroves – forgotten forest? *Natural Resources and Develompment*, **43/44**: 13 – 36,

SCHWENDENMANN, L. 1998. Tidal and seasonal variations of soil and water properties in a Brazilian mangrove ecosystem., Ressources Engineering Programme. University of Karlsruhe. Karlsruhe, Germany. 101p. (Master Thesis).

SCMITH, 2006; SOLORZANO, L.; J.H. SHARP. 1980. Determination of total dissolved phosphorous and particulate phosphorous in natural waters. *Limnology and Oceanography* **25**, 754-758.

SEIXAS, J.A.S.; FERNANDES, M.E.B.; SILVA, S. E. 2006. Análise estrutural da vegetação arbórea dos mangues no Furo Grande, Bragança, Pará Structural analysis of mangrove tree vegetation in the channel Furo Grande in Bragança, Pará *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi* (1), **3**: 61-69.

SENNA, C.S.F. & ABSY M.L. 2003. Paleoecologia. Os manguezais da costa norte brasileira. In: FERNANDES.M.E.B.(Organizador). Fundação Rio Bacanga. Maranhão.142p.

SENNA, C.S.F. 2002. Mudanças da Paleovegetação e dos Paleoambientes Holocênicos da Planície Costeira da Região Nordeste do Estado do Pará, entre as Baías de Marapanim e Maracanã. INPA. 115p. (Tese de Doutorado).

SHEPARD, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt Clay ratio. *J. Sediment Petrol*, **24**:151-158.

SHERMAN, R.E.; Fahey,T.J.; HOWARTH, R.W.1998. Soil-plant interactions in a neotropical mangrove forest: iron, phosphorus and sulfur dynamics *Oecologia* **115**, 553 – 563

SHERMAN, R.E.; FAHEY, T.J.; MARTINEZ, P. 2003. Spatial patterns of biomass and aboveground net primary productivity in a mangrove ecosystem in the Dominican Republic. *Ecosystems* **6**, 384-398

SILVA, S.E. & FERNANDES, M.E.B. 2004. Relação entre gradiente vegetacional e atributos do solo nos bosques de mangue do furo grande, Bragança – Pa. *Boletim do laboratório de hidrobiologia*, **17**:19-27

SILVA, C.A.R.; LACERDA, L.D.; SILVA, L.F.F.; REZENDE, C.E. 1991. Forest structure and biomass distribution in a red mangrove stand in Sepetiba Bay, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Botânica* **14**, 21-25.

SILVA, C.A.R. 1992. *Formas e taxas de ciclagem do fósforo no ecossistema manguezal de Itacuruçá, Baía de Sepetiba*. Universidade Federal de São Carlos.Centro de Ciências Biológicas da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. São Carlos – SP. 165p. (Tese de Doutorado).

SILVA, C.A.R.; MOZETO, A.A.; OVALLE, A.R.C. 1998a. Distribution and fluxes of phosphorus in red mangroves, Sepetiba Bay, Brazil. *Mangroves and Salt Marshes*. **2**, 37-42.

SILVA, C.A.R. & SAMPAIO, L.S. 1998b. Speciation of phosphorus in a tidal floodplain forest in the Amazon estuary. *Mangroves and Salt Marshes*. **2**, 51-57.

SMITH, F.W.; MUDGE, S.R; RAE,A.L.; GLASSOP, D. 2003. Phosphate transport in plant. *Plant in soil*, **248**, 71-83.

- SOBRADO, M. A. 1999: Drought effects on photosynthesis of the mangrove, *Avicennia germinans*, under contrasting salinities: *Trees*, **13**: 125–130.
- SOBRADO, M. A. 2000: Relation of water transport to leaf gas exchange properties in three mangrove species. *Trees*, **14**: 258–262.
- SOUZA FILHO, P.W.M. & EL-ROBRINI. M. 1998. As variações do nível do mar e a estratigrafia de seqüências da Planície Costeira Bragantina - Nordeste do Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, **10**:45-78.
- SOUZA FILHO, P.W.M 1995. *A planície costeira bragantina (NE do Pará): Influência das variações do nível do mar na Morfoestratigrafia costeira durante o Holoceno*. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Pós graduação em Geoquímica e Petrologia. 123p. Tese de Mestrado.
- SOUZA FILHO, P.W.M & EL-RORINI, M.1997. A influência das variações do nível do mar na sedimentação da Planície Costeira Bragantina durante o Holoceno - Nordeste do Pará, Brasil. In: COSTA, M.L. & ANGÉLICA, R.S. (Eds.). *Contribuições a Geologia da Amazônia 1*. Belém: FINEP/SBG. p. 307-337.
- SOUZA FILHO, P.W.M & EL-RORINI.M.1998.As variações do nível do mar e a estratigrafia de seqüências da Planície Costeira Bragantina - Nordeste do Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, **10**: 45 - 78.
- SOUZA FILHO, P.W.M 2000. Tectonic control on the coastal zone geomorphology of the northeastern Pará state. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(3) 523 - 526.
- SPOSITO, G. 1989. *The chemistry of soils*. New York, Oxford University Press. 345p
- STUCKI J.W. & LEAR, P. R. 1990. Variable oxidation state of iron in the crystal structure of smectite Clay minerals. In: COYNE L.M., McKeeves, SWS, Blake, D. F. (Eds). Spectroscopic characterization of minerals and their surfaces. Washington, D . C: *Am Chem Soc*. 330-358.
- STOUT, R. 1939. Alterations in the crystal structure of Clay minerals as a result of phosphate fixation. *Soil Sci Soc. Amer. Proc.*, **4**: 177-182
- STUMM W. & MORGAN J. J. 1981 *Aquatic Chemistry*, an Introduction emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters, 2nd edn. Wiley-Interscience Publication, New York, 780 p.
- SUGUIO, K.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; Flexor, J.M.; Azevedo, A.E.G. 1985. Flutuações do Nível Relativo do Mar durante o Quaternário Superior ao longo do Litoral Brasileiro e suas implicações da Sedimentação Costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, **15**(4):273-286.
- SUGUIO, K. 1973. *Introdução a Sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blücher. 342p.

- TAYLOR, S.R & McLENNAN, S.H. 1985. *The continental crust: Its composition and evolution*. Oxford, Blackwell. 312p.
- THIBODEAU, F.R. & NICKERSON, N.H. 1986. Differential oxidation of mangrove substrate by *Avicennia germinans* and *Rhizophora mangle*. *American Journal of Botany*, **73**, 512-516.
- THOREZ, J. 1976. *Practical identification of clay minerals*. Belgique, G. Lelotte. 90p.
- TOMLINSON, P.B. 1986. *The botany of Mangrove*. Cambridge University Press, 413p.
- TREMBLAY, L. B.; DITTMAR, T.; MARSHALL, A.G., COOPER, W.J.; COOPER, W.T. 2007. Molecular characterization of dissolved organic matter in a North Brazilian mangrove porewater and mangrove-fringed estuaries by ultrahigh resolution Fourier Transform-Ion Cyclotron Resonance mass spectrometry and excitation/emission spectroscopy. *Mar. Chem*, **105**: 15-29.
- VALENTIN, J.L. 2000. *Ecologia Numérica. Uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos*. Ed. Interciência. 117p.
- VILHENA, M.P.S.P. 2006. Mineralogia e geoquímica dos sedimentos dos manguezais de Marapanim (litoral do Estado do Pará), e suas influências sobre a *Rhizophora mangle*, carangueijos (*ucides cordatus*) e cabelo humano). Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém do Pará, Brazil. 163p. (Dissertação de mestrado).
- VITOUSEK, P.M. 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *Am. Nat.*, **119**: 553-572.
- WAFAR, S.; Untwale, A.G.; Wafar, M. 1997. Litter fall and energy flux in a mangrove ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **44**, 111-124
- WHITMORE, T. C. 1989. Canopy gaps and the two major of forest trees *Ecology*, **70**: 536-538