

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

CLAUDIA MORÉ DE LIMA

**Dinâmica da vegetação e inferências climáticas no Quaternário Tardio na região da Ilha de Marajó (PA), empregando os isótopos do carbono ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) da matéria orgânica de solos e sedimentos**

Piracicaba  
2008

CLAUDIA MORÉ DE LIMA

**Dinâmica da vegetação e inferências climáticas no Quaternário Tardio na região da Ilha de Marajó (PA), empregando os isótopos do carbono ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) da matéria orgânica de solos e sedimentos**

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente  
Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda

Piracicaba  
2008

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Seção Técnica de Biblioteca – CENA/USP**

Lima, Cláudia Moré de

Dinâmica da vegetação e inferências climáticas no Quaternário Tardio na região da Ilha de Marajó (PA), empregando os isótopos do carbono ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) da matéria orgânica de solos e sedimentos/ Cláudia Moré de Lima; orientador Luiz Carlos Ruiz Pessenda. – Piracicaba, 2008.

182 p.: fig.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Isótopos 2. Mudança climática 3. Paleoambientes 4. Paleoclimatologia  
5. Vegetação I. Título

CDU 551.583.3:546.26

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Claudia Moré de Lima

Dinâmica da vegetação e inferências climáticas no Quaternário Tardio na região da Ilha de Marajó (PA), empregando os isótopos do carbono ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) da matéria orgânica de solos e sedimentos.

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente

Aprovado em:

Banca examinadora

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus pais José Aires e Osmarina pelo carinho, apoio e compreensão ao longo da realização deste trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

*À Universidade de São Paulo (Centro de Energia Nuclear na Agricultura).*

*À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro (projeto 06/52173-2)*

*Ao Prof. Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda, pela oportunidade, amizade, conhecimento e orientação.*

*À Prof. Dr. Dilce de Fátima Rossetti (INPE/DSR) pelas valiosas discussões e amizade.*

*Ao Prof. Dr. Antenor Zanardo (IGCE/UNESP) pela amizade e colaboração nas análises petrográficas dos sedimentos e solos da Ilha de Marajó.*

*À Cecília Volkmer-Ribeiro (MCN-FZB), a quem tive o privilégio de conhecer durante a realização deste trabalho, pelas análises de espículas de esponjas.*

*Aos amigos de laboratório: Aline, Álvaro, Elaine, Jaime, Mariah, Rodrigo, Soraia e Susy*

*Aos geólogos Mirian C. Menegazzo, Rodrigo P. Melo e Graziela pela amizade e hospedagem durante as análises em Rio Claro.*

*Aos técnicos Carlos da Silva Rosário e Carlos Alberto Santos da Silva (MPEG) pelo levantamento botânico.*

*Aos meus queridos familiares, meus pais e minha irmã Bruna.*

*“A natureza é racional e revelará seus segredos àqueles que aprenderem a ler e a entender sua linguagem”.*

*George-Louis Le Clerc (1707-1788)*

## RESUMO

LIMA, C.M. **Dinâmica da vegetação e inferências climáticas no Quaternário Tardio na região da Ilha de Marajó (PA), empregando os isótopos do carbono ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) da matéria orgânica de solos e sedimentos.** 2008. 182 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

Considerada a maior ilha flúvio-marítima do mundo, com aproximadamente 48.000 km<sup>2</sup>, a Ilha de Marajó situa-se na zona equatorial brasileira, no litoral do Estado do Pará. Apresenta dois domínios distintos relacionados a geologia e vegetação. No setor oeste dominam solos desenvolvidos sobre os sedimentos Pós Barreiras (plio-pleistocênicos) recobertos pela Floresta Amazônica, enquanto no setor leste dominam sedimentos holocênicos derivados de ambiente fluvial/estuarino atualmente desativado. Neste setor encontram-se os extensos campos naturais marajoaras. O objetivo deste trabalho consistiu em aplicar os isótopos de carbono ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  e  $^{14}\text{C}$ ) da matéria orgânica de solos e sedimentos com o intuito de avaliar possíveis modificações nos domínios da vegetação, em termos de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ , durante o Quaternário Tardio e inferir sobre suas causas. Os resultados foram associados com observações de campo e análises petrográficas, sedimentológicas, químicas, de espículas de esponjas, isotópicas de nitrogênio e bibliográficas, sendo possível distinguir três mudanças ambientais relacionadas à geologia e vegetação, no setor leste da Ilha de Marajó durante o Pleistoceno Superior (aproximadamente 16.000 anos AP) ao Holoceno. No setor central da Ilha de Marajó foram obtidas as idades mais antigas da matéria orgânica em sedimentos de um paleocanal. Neste local, no intervalo Pleistoceno Superior-Holoceno Inferior, os dados isotópicos do carbono são característicos de plantas  $\text{C}_3$ , com exceção de dois pontos correspondentes a  $16.118 \pm 60$  anos AP e aproximadamente 13.000 anos AP, com valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  de -20,4 e -22,1 ‰ respectivamente. A relação entre os resultados isotópicos do carbono e nitrogênio indicam a presença de plantas terrestres (gramíneas  $\text{C}_4$ ) nesta região, atualmente ocupada por vegetação arbórea, provavelmente associada a clima mais seco. A presença de fragmentos vegetais carbonizados e minerais instáveis ao intemperismo químico como feldspato, hornblenda e biotita nos sedimentos, confirmam a hipótese. Nos demais pontos analisados, durante o Holoceno Médio/Superior (entre aproximadamente 5.000 a 3.000 anos AP) os dados isotópicos do carbono e de fragmentos vegetais carbonizados indicam que uma vegetação constituída por plantas  $\text{C}_3$  (arbóreas) no setor leste da ilha foi gradativamente substituída por gramíneas  $\text{C}_4$ , iniciando a formação dos atuais campos na Ilha de Marajó, associados a um clima mais seco. Neste mesmo período os canais foram sendo abandonados, como indicado pela granodecrescência ascendente dos sedimentos de paleocanais e mudança da coloração (de cinza para marrom alaranjado) dos sedimentos argilosos da planície de inundação, associados à deposição em um ambiente redutor para um ambiente oxidante. No intervalo redutor, em alguns perfis houve a formação de pirita e jarosita. Estudos anteriores mostram que o processo de abandono de canais está associado a

eventos de tectônica cenozóica na região. Os dados isotópicos de carbono mais enriquecidos observados no setor sudoeste da ilha, indicam no período de ~7000 a 3000 anos AP, uma abertura da vegetação arbórea e/ou a presença de plantas  $C_4$ , associados a um período mais seco. Durante o Holoceno Superior os canais foram preenchidos e abandonados. O empobrecimento isotópico do carbono da matéria orgânica indica a implantação da vegetação arbórea sobre os mesmos, estabelecendo a condição atual observada no setor leste da Ilha com paleocanais com vegetação de cobertura arbórea (plantas  $C_3$ ) e planície de inundação com vegetação de campos (plantas  $C_3$  e  $C_4$ ). A análise de espículas de esponjas e isótopos de nitrogênio apontam o setor leste como um sistema deposicional transicional (estuarino) durante o Quaternário Tardio.

Palavras-chave: Ilha de Marajó, Quaternário Tardio, isótopos do carbono, vegetação, clima

## ABSTRACT

LIMA, C.M. **Vegetation dynamics and climatic inferences in the Late Quaternary in the Marajó Island region, employing the carbon isotopes ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) of the soil and sediments organic matter.** 2008. 182 f. Dissertation (Master) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

Considered the largest fluvial-marine island of the world, with approximately 48.000 km<sup>2</sup>, the Marajó Island is located in the Brazilian equatorial area, in the Pará State coast. It presents two different domains related to the geology and vegetation. In the west domain dominate soils developed on Pós Barreiras sediments (plio-pleistocenes) covered by the Amazonian Forest, while in the east domain dominate holocenic sediments derived of fluvial/estuarine environment, at present deactivated. In this sector are located the natural savanna. The objective of this work consisted of to apply the carbon isotopes ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  and  $^{14}\text{C}$ ) of soil and sediment organic matter, in order to evaluate possible changes in the vegetation domains, in terms of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants during the Late Quaternary, and inferences about their causes. The results were associated with field observations, petrographic, sedimentologic, chemical, sponge spicules and nitrogen isotope analyses and bibliography, being possible to distinguish three environmental changes related to the geology and vegetation in the eastern Marajó Island during Late Pleistocene (approximately 16.000 years BP) to the Holocene. In the central section of the Marajó Island were obtained the oldest ages of the sediment organic matter of a paleochannel. In this place, in the interval Late Pleistocene - Early Holocene, the carbon isotope data are characteristic of C<sub>3</sub> plants, except for two points corresponding to 16.118 ± 60 years BP and approximately 13.000 years BP, with values of  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  of -20,4 and -22,1 ‰, respectively. The relation between the carbon and nitrogen isotopes data, indicate the presence of terrestrial plants (C<sub>4</sub> grass) in this area, at present covered by arboreal vegetation, probably associated to a drier climate. The presence of charred wood fragments and unstable minerals to the chemical weathering as feldspar, hornblende and biotite in the sediments, confirm the hypothesis. In other points, during Middle/Late Holocene (between ~5.000 and 3.000 years BP) the carbon isotopes and charred wood fragments data, indicate that a vegetation constituted of C<sub>3</sub> plants (trees) in the eastern sector of the island, was gradually substituted by C<sub>4</sub> grasses, initiating the formation of savanna vegetation in the Marajó Island, associated to a drier climate. In this same period, the channels were abandoned, as indicated by the fining upward the paleochannel sediments and the color change (grey to brown orange) of the clayey sediments of the floodplain, associated to the deposition of a reducing environment to an oxidizing environment. In the reducing interval, in some profiles it was observed the formation of pyrite and jarosite. Previous studies show that the channels abandonment processes is associated to tectonic Cenozoic events in the area. The more enriched isotope carbon data of soil organic matter observed in the Southwestern sector of the island, indicated in the period of ~7.000 and 3.000 years

BP, an opening of the arboreal vegetation and/or the presence of C<sub>4</sub> plants, probably associated to a drier climate. During the Late Holocene the channels were filled out and abandoned. More depleted carbon isotope data of the organic matter, indicates the implementation of the arboreal vegetation on the channels, establishing the modern conditions observed at the eastern section of the Island, with paleochannels covered by arboreal vegetation (C<sub>3</sub> plants) and the floodplain covered by grassland vegetation (C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants). The sponge spicules and nitrogen isotope analysis, indicate the eastern section as a transitional deposition system (estuarine) during the Late Quaternary.

Keywords: Marajó Island, Late Quaternary, carbon isotopes, vegetation, climate

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 -</b>	Valores isotópicos do carbono característico dos diferentes ciclos fotossintéticos (C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> e CAM). As barras indicam a abundância de espécies na natureza que realizam cada ciclo (dados extraídos de Boutton, 1996).....	24
<b>Figura 2 -</b>	Diagrama de pólen e coluna estratigráfica dos sedimentos do Lago Arari, região nordeste da Ilha de Marajó (Meggers & Danon, 1988).....	32
<b>Figura 3 -</b>	Descrição simplificada dos sedimentos do perfil amostrado no Lago Carajás (PA), comparado com análises de COT, C/N, δ <sup>13</sup> C, Terrestre/Planctônico (T/P) e Pólen Arbóreo (AP), Sifeddine et al., 2004.....	33
<b>Figura 4 -</b>	Registros paleontológicos de <i>Haplomastodon waringi</i> (mastodonte) e <i>Ereotherium laurillardii</i> (preguiça gigante) em região do Pará ocupada atualmente por floresta (Rossetti et al., 2004).....	34
<b>Figura 5 -</b>	Mapa mostrando a extensão da Floresta Amazônica (área delimitada pela linha). A localização dos pontos onde grãos de pólen de <i>Podocarpus</i> de idade glacial têm sido encontrados são mostrados pelos números: (1) Pântano de Mônica, (2) Morro dos Seis Lagos e (3) Carajás. (extraído de Behling, 2001).....	35
<b>Figura 6 -</b>	Mapa de localização da Ilha de Marajó e a área em estudo I e II (hachurado), nos arredores de Santa Cruz do Arari e Breves (base cartográfica extraída do RADAMBRASIL, 1974).....	39
<b>Figura 7 -</b>	Modelo de elevação da ilha de Marajó (hipsometria, histogramas e transectos) – Rossetti & Valeriano, 2007.....	41
<b>Figura 8 -</b>	Precipitação total na estação seca e chuvosa no estado do Pará (fonte www.inmet.gov.br).....	44
<b>Figura 9 -</b>	Litoestratigrafia da Bacia de Marajó (Lima 1987, modificado por Costa et.al., 2002).....	45
<b>Figura 10 -</b>	Estrutura da Bacia de Marajó (Villegas, 1994).....	46
<b>Figura 11 -</b>	Imagem de radar ilustrando o contraste entre os setores leste e oeste da Ilha de Marajó representados por depósitos Pós Barreiras e holocênicos, respectivamente (Rossetti & Valeriano, 2007).....	48
<b>Figura 12 -</b>	Detalhe da estrutura em forma de funil nos arredores do Lago Arari interpretada como sendo pertencente a um sistema deposicional estuarino (Rossetti et al., 2007).....	49
<b>Figura 13 -</b>	Evolução geológica da Ilha de Marajó durante o Plio-Pleistoceno até o presente (Rossetti & Valeriano, 2007), mostrando a captura do rio Tocantins por falhas na direção NE, a instalação do Rio Pará e a formação da Ilha de Marajó.....	50
<b>Figura 14 -</b>	Perfis estratigráficos representando os depósitos de paleocanais no setor leste da Ilha de Marajó, onde é possível verificar granodrecrescência ascendente (material arenoso para lamoso), formado por decréscimo do fluxo de energia, típico de depósito de preenchimento de canal.....	51
<b>Figura 15 -</b>	Mapa da região nordeste da Ilha de Marajó (PA) incluindo os pontos de amostragem da primeira e segunda etapa de campo.....	56
<b>Figura 16 -</b>	Localização dos pontos da região sudoeste da Ilha de Marajó (arredores da cidade de Breves), realizados na segunda etapa de campo.....	57

<b>Figura 17 -</b>	Visão geral da vegetação nos pontos em estudo no nordeste da Ilha de Marajó (PA). Esta parte da ilha abrange essencialmente quatro fitofisiografias: mata (MOC-F e MOC-TF), campo arborizado (C-CER e C-CAT), campo limpo (MOC-TC, C-BAT e C-CRUZ) e cerrado (C-CAM).....	63
<b>Figura 18 -</b>	Visão geral da vegetação nos pontos de amostragem na região nordeste da Ilha de Marajó (PA) durante a segunda etapa de campo. A foto em C-BAT ilustra os fragmentos vegetais carbonizados em meio a sedimento essencialmente argiloso de coloração cinza da planície de inundação.....	64
<b>Figura 19 -</b>	Pontos de amostragem da segunda etapa de campo na região sudoeste da Ilha de Marajó (PA). A vegetação de mata, dominante nesta região, é representada pelos pontos TU-F, TU-F2 e PC-F (arredores da cidade de Breves). O cerrado (ponto TG) está localizado no Município de Portel e apresenta contato abrupto com a floresta ao redor.....	68
<b>Figura 20 -</b>	Primeira etapa do pré-tratamento das amostras de solos para análise do $\delta^{13}\text{C}$ .....	70
<b>Figura 21 -</b>	Primeira etapa do pré-tratamento das amostras de plantas para análise do $\delta^{13}\text{C}$ .....	72
<b>Figura 22 -</b>	Segunda etapa do pré-tratamento das amostras de solos e plantas para análise do $\delta^{13}\text{C}$ ..	73
<b>Figura 23 -</b>	Terceira etapa do pré-tratamento das amostras de solos e plantas para análise do $\delta^{13}\text{C}$ ..	75
<b>Figura 24 -</b>	Pré-tratamento físico (primeira etapa) das amostras de solos para datação pelo método $^{14}\text{C}$ .....	77
<b>Figura 25 -</b>	pré-tratamento químico (ácido-alcálico-ácido) de amostras de solos para datação pelo método $^{14}\text{C}$ .....	78
<b>Figura 26 -</b>	Foto através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) mostrando em detalhe o sobrecrescimento de microcristais sobre as concreções de óxi-hidróxidos de ferro (amostra 270-280 cm do ponto C-BAT) O gráfico representa a análise EDS, com presença significativa de Fe, S e K (provavelmente referente a mineral do grupo da jarosita).....	87
<b>Figura 27 -</b>	Foto através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) mostrando em detalhe o mineral arredondado, com aspecto botroidal encontrado no intervalo de 270-280 cm do ponto C-CRUZ. O gráfico representa a análise EDS, com presença significativa de Fe e S (provavelmente referente a pirita – $\text{FeS}_2$ ).....	88
<b>Figura 28 -</b>	Esquema referente à classe de textura dos perfis estudados na primeira etapa de campo no nordeste da Ilha de Marajó (classificação segundo o diagrama de Shepard, 1954), tipo de amostragem, profundidade do nível d'água e do nível laterítico. Os fragmentos vegetais, por vezes carbonizados estão presentes nas maiores profundidades, tanto nos sedimentos dos paleocanais como nos sedimentos da planície de inundação.....	93
<b>Figura 29 -</b>	Esquema referente à classe de textura dos perfis de dois pontos amostrados na segunda etapa de campo (CA-F e TU-F).....	94
<b>Figura 30 -</b>	Análise química envolvendo os elementos $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ e Al de sedimentos de paleocanal (MOC-F) e planície de inundação (C-CRUZ).....	99
<b>Figura 31 -</b>	Análise química envolvendo os elementos $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ e Al de solo desenvolvido sobre Pós Barreiras.....	100
<b>Figura 32 -</b>	Análise de espículas de esponjas em sedimento de paleocanal (ponto MOC-F). As espículas de esponjas de água doce estão presentes em todo perfil, entretanto em	

	alguns intervalos também há espículas de espécies marinhas, indicando provavelmente um ambiente estuarino na época de deposição destes sedimentos.....	102
<b>Figura 33 -</b>	Valores de carbono orgânico total nos perfis dos pontos estudados no nordeste da Ilha de Marajó (PA). A.) perfis em paleocanais; B.) perfis em planície de inundação e em solo desenvolvido sobre sedimento Pós-Barreiras (C-CAM).....	104
<b>Figura 34 -</b>	Valores de carbono orgânico distintos em dois pontos em planície de inundação (A) e Pós-Barreiras nos arredores de Breves (B).....	106
<b>Figura 35 -</b>	Composição isotópica do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) das espécies botânicas da vegetação de matas sobre paleocanais.....	109
<b>Figura 36 -</b>	Composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) das espécies botânicas da vegetação de campos sobre planície de inundação. Observar legenda na Figura 35.....	112
<b>Figura 37 -</b>	Composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) das espécies botânicas da vegetação de matas sobre Pós Barreiras.....	114
<b>Figura 38 -</b>	Composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) das espécies botânicas da vegetação de cerrados sobre Pós Barreiras.....	116
<b>Figura 39 -</b>	Carbono orgânico total e $\delta^{13}\text{C}$ de fragmentos vegetais concentrados em peneiramento encontrados nos sedimentos de paleocanais e planície de inundação.....	119
<b>Figura 40 -</b>	Composição isotópica do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) da matéria orgânica de sedimentos e solos dos pontos em estudo na Ilha de Marajó (PA).....	124
<b>Figura 41 -</b>	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ nos perfis MOC-F (paleocanal) e C-BAT (planície de inundação) com a cronologia determinada através de datação $^{14}\text{C}$ de fragmentos vegetais e fração humina.....	125
<b>Figura 42 -</b>	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ nos perfis CA-F e TU-F com a cronologia determinada através de datação $^{14}\text{C}$ de fragmentos vegetais e fração humina.....	126
<b>Figura 43 -</b>	Modelos sobre a fonte da matéria orgânica de sedimentos envolvendo a razão C/N x $\delta^{13}\text{C}$ (Meyers, 2003) e $\delta^{13}\text{C}$ x $\delta^{15}\text{N}$ (Petreson & Howarth, 1987) com os valores obtidos no ponto MOC-F (paleocanal).....	128
<b>Figura 44 -</b>	Modelos sobre a fonte da matéria orgânica de sedimentos envolvendo a razão C/N x $\delta^{13}\text{C}$ (Meyers, 2003) e $\delta^{13}\text{C}$ x $\delta^{15}\text{N}$ (Petreson & Howarth, 1987) com os valores obtidos no ponto C-BAT (planície de inundação).....	131
<b>Figura 45 -</b>	Modelos sobre a fonte da matéria orgânica de sedimentos envolvendo a razão C/N x $\delta^{13}\text{C}$ (Meyers, 2003) e $\delta^{13}\text{C}$ x $\delta^{15}\text{N}$ (Petreson & Howarth, 1987) com os valores obtidos no ponto C-AE (paleocanal).....	132
<b>Figura 46 -</b>	Bloco diagrama representando o processo de abandono de canais no setor leste da Ilha de Marajó e a influência deste processo no domínio da vegetação.....	140

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 -</b>	Localização dos pontos, tipo de amostragem para a coleta e profundidade atingida.	54
<b>Tabela 2 -</b>	Localização dos pontos da segunda etapa de campo, tipo de amostragem para a coleta e profundidade atingida. ....	55
<b>Tabela 3 -</b>	Petrografia dos sedimentos de paleocanal (ponto MOC-F).....	85
<b>Tabela 4 -</b>	Petrografia dos sedimentos de planície de inundação (ponto C-BAT).....	86
<b>Tabela 5 -</b>	Petrografia dos sedimentos de planície de inundação (ponto C-CRUZ).....	87
<b>Tabela 6 -</b>	Petrografia do solo desenvolvido sobre os sedimentos Pós Barreiras (ponto CA-IM).....	89
<b>Tabela 7 -</b>	Petrografia do solo desenvolvido sobre sedimentos Pós Barreiras (ponto TU-F).....	91
<b>Tabela 8 -</b>	Petrografia do solo desenvolvido sobre sedimentos Pós Barreiras (ponto TG).....	91
<b>Tabela 9 -</b>	Datação <sup>14</sup> C de amostras (fração húmica e fragmentos vegetais) da Ilha de Marajó.....	96

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	18
<b>OBJETIVOS</b> .....	20
<b>CAPÍTULO 1 - REVISÃO DA LITERATURA – Estudos paleoambientais</b> .....	21
<b>1.1. Aplicação dos isótopos de carbono em estudos paleoambientais</b> .....	22
<b>1.1.1. Isótopos estáveis (<sup>12</sup>C e <sup>13</sup>C)</b> .....	22
<b>1.1.2. Ciclos fotossintéticos e o fracionamento dos isótopos estáveis de carbono</b> .....	23
<b>1.1.2.1. Fracionamento isotópico do carbono em plantas C<sub>3</sub></b> .....	23
<b>1.1.2.2. Fracionamento isotópico do carbono em plantas C<sub>4</sub></b> .....	24
<b>1.1.2.3. Fracionamento isotópico do carbono em plantas CAM</b> .....	25
<b>1.1.3. Fracionamento isotópico durante a decomposição da matéria orgânica</b> .....	25
<b>1.1.4. Isótopo radioativo (<sup>14</sup>C)</b> .....	26
<b>1.2. Aplicação dos isótopos de nitrogênio</b> .....	28
<b>1.2.1. Isótopos estáveis (<sup>14</sup>N e <sup>15</sup>N) e razão C/N</b> .....	28
<b>1.3. Microfósseis</b> .....	29
<b>1.4. Índícios de variações climáticas na região Amazônica durante o Quaternário Tardio</b> .....	31
<b>1.5. Variações do nível do mar na zona equatorial brasileira durante o Quaternário</b> .....	36
<b>CAPÍTULO 2 – CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS E GEOLÓGICAS</b> .....	38
<b>2.1. A área em estudo</b> .....	39
<b>2.1.1. Localização e vias de acesso</b> .....	39
<b>2.1.2. Aspectos fisiográficos</b> .....	41
<b>2.1.2.1. Relevo</b> .....	41
<b>2.1.2.2. Hidrografia</b> .....	42
<b>2.1.2.3. Solos</b> .....	42
<b>2.1.2.4. Vegetação</b> .....	42
<b>2.1.2.5. Clima</b> .....	43
<b>2.2. Geologia regional</b> .....	45
<b>2.3. Geologia local</b> .....	48
<b>CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS – Atividades de campo e laboratório</b> .....	52
<b>3.1. Atividade de campo</b> .....	53
<b>3.1.1. Região nordeste da Ilha de Marajó (área I)</b> .....	58
<b>3.1.1.1. Campo arborizado (ponto MOC-C)</b> .....	58
<b>3.1.1.2. Mata (ponto MOC-F)</b> .....	58
<b>3.1.1.3. Savana arbórea (ponto C-CER)</b> .....	59
<b>3.1.1.4. Campo com <i>Senna reticulata</i> (ponto MOC-TC)</b> .....	59
<b>3.1.1.5. Mata (ponto MOC-TF)</b> .....	59

3.1.1.6. Campo com <i>Mimosa dormiens</i> (ponto C-CAT).....	60
3.1.1.7. Campo com <i>Ipomoea asarifolia</i> (ponto C-BAT).....	60
3.1.1.8. Campo com <i>Ipomoea carnea</i> (ponto C-CRUZ).....	60
3.1.1.9. Campo com <i>Ficus amazonica</i> (ponto C-AE).....	61
3.1.1.10. Mata (ponto CA-IM).....	61
3.1.1.11. Campo limpo (ponto CA-C).....	61
3.1.1.12. Mata (CA-F).....	61
3.1.1.13. Cerrado (ponto C-CAM).....	61
3.1.2. Região sudoeste da Ilha de Marajó (área II).....	65
3.1.2.1. Mata (ponto TU-F).....	65
3.1.2.2. Mata (ponto TU-F II).....	66
3.1.2.3. Mata (ponto PC-F).....	66
3.1.2.4. Cerrado (ponto TG).....	66
3.2. Atividades de laboratório.....	69
3.2.1. Pré-tratamento das amostras de solo e sedimentos para análise do $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ e $\text{C}_{\text{total}}$ .....	69
3.2.2. Pré-tratamento das amostras de plantas para análise do $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ .....	71
3.2.3. Pré-tratamento das amostras de sedimentos para análise do $\delta^{15}\text{N}$ e $\text{N}_{\text{total}}$ .....	74
3.2.4. Pré-tratamento das amostras coletadas nos poços para datação $^{14}\text{C}$ .....	76
3.2.5. Pré-tratamento das amostras de fragmentos vegetais para datação $^{14}\text{C}$ .....	79
3.2.6. Caracterização mineralógica e textural de solos e sedimentos.....	79
3.2.6.1. Granulometria.....	79
3.2.6.2. Análise química.....	79
3.2.6.3. Microscopia óptica.....	80
3.2.7. Análise qualitativa de microfósseis (espículas de esponjas).....	80
3.2.7.1. Pré-tratamento da amostra sedimentar para análise de espículas de esponjas.....	80
<b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	82
4.1. Descrição e caracterização mineralógica dos sedimentos e solos.....	84
4.1.1. Paleocanais.....	84
4.1.2. Planície de inundação.....	85
4.1.3. Pós Barreiras (setor leste da Ilha).....	89
4.1.4. Pós-Barreiras (setor sudoeste da Ilha).....	90
4.2. Datação $^{14}\text{C}$ .....	95
4.2.1. Paleocanais.....	95
4.2.2. Planície de inundação.....	95
4.2.3. Solos sobre Pós Barreiras.....	96
4.3. Análise química.....	98
4.4. Análise de espículas de esponjas.....	101
4.5. Carbono orgânico total.....	103
4.6. Dados isotópicos do carbono.....	107

4.6.1. Caracterização isotópica da vegetação de cobertura.....	107
4.6.1.1. Matas sobre paleocanais (setor leste).....	107
4.6.1.2. Campos sobre planície de inundação (setor leste).....	110
4.6.1.3. Matas sobre Pós Barreiras (setor oeste).....	113
4.6.1.4. Cerrados sobre pós Barreiras.....	115
4.6.2. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS superficial e sua relação com a vegetação atual.....	118
4.6.3. $\delta^{13}\text{C}$ dos fragmentos vegetais encontrados nos sedimentos.....	119
4.6.4. Caracterização isotópica do carbono da matéria orgânica de sedimentos e solos.....	120
4.7. Dados isotópicos do nitrogênio.....	127
4.7.1. Caracterização isotópica do nitrogênio da matéria orgânica de sedimentos.....	127
4.8. Integração dos dados.....	135
<b>CONCLUSÕES</b> .....	141
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	143
<b>APÊNDICES</b> .....	148
<i>Apêndice A - Análise granulométrica</i> .....	148
<i>Apêndice B - Análise química</i> .....	155
<i>Apêndice C - Levantamento botânico</i> .....	157
<i>Apêndice D - Análise isotópica do carbono (<math>\delta^{13}\text{C}</math>) e C-total</i> .....	176
<i>Apêndice E - Análise isotópica do nitrogênio (<math>\delta^{15}\text{N}</math>) e N-total</i> .....	181

## INTRODUÇÃO

O período Quaternário, o qual representa os últimos 1,8 milhão de anos da história evolutiva de nosso planeta, tem como característica cinco grandes glaciações sendo o Último Máximo Glacial (UMG) registrado em aproximadamente 18.000 anos AP, onde grande parte da América do Norte e Europa encontravam-se sob geleiras. Apesar de não ser afetado diretamente pelas glaciações, o Brasil sofreu significativas mudanças ambientais neste período e pós glacial relacionadas às variações do nível do mar, mudanças climáticas e eventos de tectônica cenozóica, responsáveis pelo modelamento da paisagem atual e pelos domínios da vegetação.

Os estágios glaciais (fases de expansão de geleiras) afetam o clima global, diminuindo significativamente a umidade relativa do ar. As mudanças climáticas também interferem no domínio das vegetações. Deste modo o estudo da dinâmica da paleovegetação durante o tempo geológico em uma determinada área é um aspecto relevante para as inferências sobre a sua evolução climática. A análise dos isótopos do carbono contidos na matéria orgânica do solo (MOS) tem demonstrado ser uma ferramenta bastante útil nos estudos de reconstrução do ambiente pretérito, relativos a dinâmica da vegetação e do clima (HENDY et al., 1972; DESJARDINS et al., 1996; MARTINELLI et al., 1996; PESSENDA et al., 1996a, b, 1998a, b, c; VIDOTTO, 2003; SAIA, 2006).

O método tem por base diferenças, descobertas no final da década de 40, na composição de isótopos estáveis de carbono em diversas espécies de plantas (CALVIN & BENSON, 1949). O grupo fotossintético C<sub>3</sub> (representado por plantas típicas de vegetação arbórea de florestas tropicais) apresenta valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -22‰ e -35‰. Já o grupo fotossintético C<sub>4</sub> (plantas típicas de vegetação aberta, incluindo principalmente gramíneas e herbáceas) possui valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -9‰ e -16‰ (BOUTTON, 1991). Deste modo, a dinâmica da vegetação pode ser inferida pela variação dos isótopos do elemento químico carbono presentes no solo, a profundidades variáveis, já que os resíduos de diferentes tipos de plantas (incorporados ao solo em épocas sucessivas) também contém teores diferentes desses isótopos. No caso de sedimentos, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  também podem ser comparados com outros resultados como mineralogia, análise de microfósseis, estruturas e texturas sedimentares para uma melhor caracterização do ambiente pretérito. A resposta do  $\delta^{13}\text{C}$  de cada intervalo de solo e

sedimento analisado juntamente com os dados de datação pelo método  $^{14}\text{C}$  neste trabalho, possibilitaram o entendimento das variações da vegetação (em termos de ciclos fotossintéticos) ao longo do tempo geológico na região da Ilha de Marajó (PA) e, conseqüentemente, tornaram possível a realização de inferências sobre estas mudanças em relação a evolução geológica ocorrida no Quaternário tardio e variações paleoclimáticas nessa região.

Situada na zona equatorial brasileira, no Estado do Pará, a Ilha de Marajó representa uma área interessante para os estudos paleoambientais do Quaternário Tardio. O domínio oriental (com 23.000  $\text{km}^2$ ) é constituído predominantemente por depósitos sedimentares holocênicos argilosos, de coloração acinzentada, contendo argilominerais expansíveis. Neste domínio também ocorrem inúmeros paleocanais com preenchimento areno siltoso, interpretados como resultado de um ambiente deposicional fluvial/estuarino, hoje desativado. Atualmente sobre os materiais argilosos estão instalados os extensos campos naturais marajoaras.

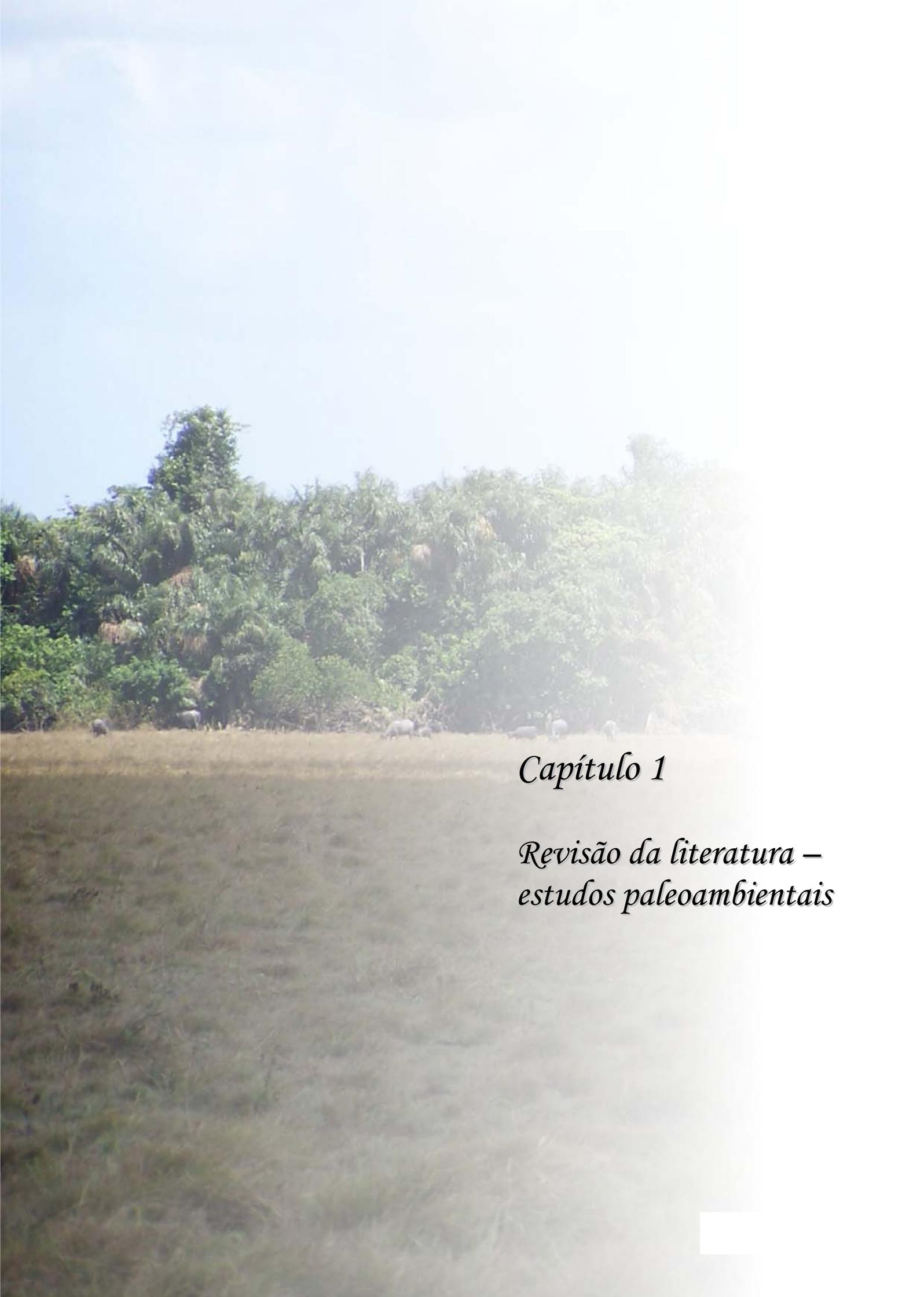
Já sobre os sedimentos dos paleocanais uma vegetação arbórea predomina, destacando-se dos campos ao redor, formando cordões facilmente identificados em imagens de satélite. Estes campos apresentam contato abrupto com a Floresta Amazônica (que ocupa uma área de 25.000  $\text{km}^2$ ) do domínio ocidental da ilha, instalada em solos desenvolvidos sobre os sedimentos Pós-Barreiras. A formação da Ilha de Marajó (separação do continente) ocorreu somente durante o Holoceno Médio/Tardio, após o desvio do curso do Baixo Rio Tocantins de NNE-SSW para NE-SW e com a instalação do Rio Pará na direção E-W, devido à reativação de falhas transcorrentes (ROSSETTI & VALERIANO, 2007). Eventos neotectônicos provocaram o abandono de canais fluviais na região, afetando o sistema hídrico da Ilha, tornando o ambiente mais seco e conseqüentemente ocasionando mudanças na vegetação que foram detectadas através dos isótopos de carbono.

Os estudos envolvendo os isótopos de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$  e datação  $^{14}\text{C}$ ) da matéria orgânica tanto dos sedimentos da porção leste-central da Ilha como nos solos da parte oeste, análise química, caracterização mineralógica e textural, e dados isotópicos de nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) em sedimentos, análise de espículas de esponjas demonstram que não somente o clima, mas a dinâmica geológica durante o Holoceno, incluindo uma possível influência marinha na região, foram fatores determinantes para a distribuição espacial da vegetação atual.

## **OBJETIVOS**

Este trabalho tem como principais objetivos:

- a caracterização botânica e isotópica da vegetação atual (campo, floresta e ecótono campo-floresta) nos locais de estudo;
- verificar eventuais processos de expansão e regressão em relação ao domínio da vegetação atual durante o Pleistoceno tardio e Holoceno através das análises isotópicas ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $^{14}\text{C}$ ) da MOS, visando estabelecer a paleodinâmica da vegetação;
- comparar e complementar os resultados obtidos com as análises de espículas de esponjas, com análises química, mineralógica e textural de sedimentos e solos, com dados isotópicos de nitrogênio e com a bibliografia disponível relacionada aos paleoclimas da Amazônia e eventos de tectônica cenozóica na região.



## *Capítulo 1*

*Revisão da literatura –  
estudos paleoambientais*

## 1.1. APLICAÇÃO DOS ISÓTOPOS DO CARBONO EM ESTUDOS PALEOAMBIENTAIS

### 1.1.1 Isótopos estáveis ( $^{12}\text{C}$ e $^{13}\text{C}$ )

---

Para contribuição dos estudos na amazônia durante o Holoceno e Pleistoceno Superior, foi proposto neste trabalho a aplicação dos isótopos  $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$  da matéria orgânica de solos e sedimentos da Ilha de Marajó de modo a determinar a dinâmica da vegetação na região e, com os resultados, realizar inferências sobre suas causas, tanto de caráter climático quanto geológico.

Os isótopos estáveis do carbono ocorrem naturalmente em proporções bastante distintas. O  $^{12}\text{C}$  representa 98,89% de todo o carbono encontrado na natureza, enquanto a abundância do  $^{13}\text{C}$  é de apenas 1,11%. Na superfície terrestre o carbono pode apresentar-se na forma de compostos orgânicos (constituindo tecidos de animais e vegetais) e inorgânicos (formando carbonatos,  $\text{CO}_2$  atmosférico e  $\text{HCO}_3^-$  nas águas marinhas e continentais). Durante os processos físicos, químicos e biológicos atuantes na formação destes compostos pode ocorrer o fracionamento isotópico, isto é, a razão isotópica ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) do produto final é diferente da fonte que lhe deu origem. Assim o carbono inorgânico é relativamente enriquecido em  $^{13}\text{C}$  enquanto o carbono orgânico é geralmente empobrecido em  $^{13}\text{C}$  (como resultado do fracionamento por processos biológicos ocorrendo, primariamente durante a fotossíntese).

A variação entre os isótopos de carbono nas plantas e na matéria orgânica do solo é relativamente pequena, sendo que os materiais mais enriquecidos se diferem dos menos enriquecidos por aproximadamente 2% ou 20 partes por mil (BOUTTON, 1996). Para quantificar estas pequenas variações da razão  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  da matéria orgânica do solo é necessário utilizar um método que apresente alta precisão nos resultados. Estas análises são geralmente realizadas em um espectrômetro de massas. A razão isotópica obtida da amostra é então comparada com a razão isotópica do padrão (PDB – Pee Dee Belemite, que corresponde a carapaça de um molusco fóssil da Formação Pee Dee (Cretáceo), localizado no Estado da Carolina, E.U.A), sendo o resultado expresso em abundância isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ):

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} (\text{‰}) = \left[ \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} \right] \times 1000$$

onde  $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$

Assim, quando uma determinada amostra apresenta valores de  $\delta^{13}\text{C}$  negativos (por exemplo -16 ‰) significa que a razão  ${}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$  desta amostra é 1,6% menor que a razão  ${}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$  da amostra padrão.

Nas últimas décadas, diversos estudos foram desenvolvidos utilizando os isótopos estáveis do carbono da matéria orgânica de solos com intuito de avaliar a dinâmica da vegetação e inferir sobre variações paleoclimáticas (MARTINELLI et al, 1996; PESSENDA et al., 1998a; VIDOTTO, 2008). Para tal finalidade, utiliza-se o princípio do fracionamento isotópico pelas plantas de diferentes ciclos fotossintéticos ( $\text{C}_3$ ,  $\text{C}_4$  e CAM), sendo que a matéria orgânica derivada destes diferentes tipos de plantas apresentam fracionamento distintos. Como os ciclos  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  apresentam valores isotópicos que diferem entre si em aproximadamente 14‰ (Figura 1), é possível determinar a origem da matéria orgânica do solo a diferentes profundidades, tornando possível a reconstrução da dinâmica da vegetação durante o tempo geológico.

## 1.1.2. Os ciclos fotossintéticos e o fracionamento dos isótopos estáveis de carbono

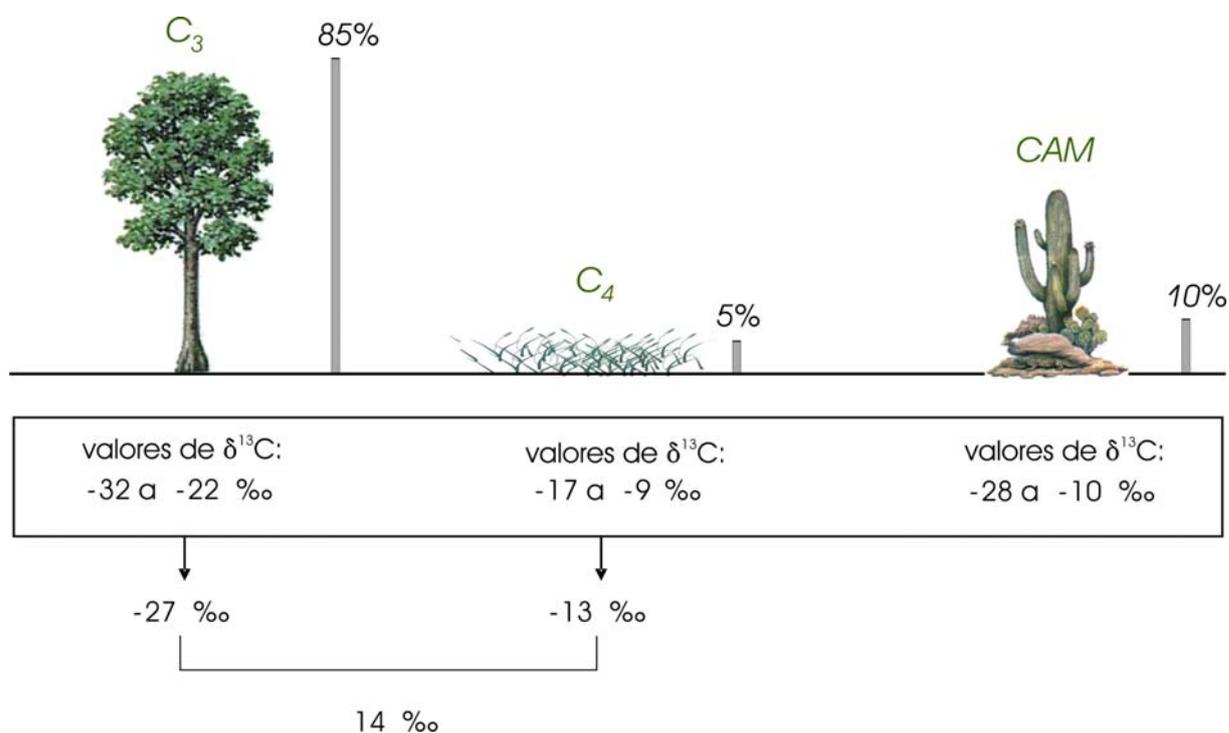
### 1.1.2.1. Fracionamento isotópico do carbono em plantas $\text{C}_3$

Na década de 1950, Craig (1953,1954) e Baertschi (1953) mediram valores de uma variedade de materiais naturais, incluindo plantas. Estes autores mostraram que a maioria das plantas tiveram valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -25‰ a -35‰, correspondendo a plantas que realizam o ciclo  $\text{C}_3$ . O ciclo fotossintético  $\text{C}_3$  é representado predominantemente por vegetação arbórea. Entretanto algumas espécies de gramíneas que se desenvolvem em regiões úmidas também realizam este ciclo. Aproximadamente 85% de todas as espécies de plantas existentes realizam este ciclo fotossintético. Plantas com ciclo  $\text{C}_3$  reduzem o  $\text{CO}_2$  atmosférico à fosfoglicerato (um componente com 3 átomos de

carbono), via enzima ribulose bifosfato carboxilase/oxilase (RUBisCO). Plantas do ciclo  $C_3$  discriminam mais o  $^{13}C$  durante o processo de fotossíntese que plantas do ciclo  $C_4$ , deste modo apresentando valores mais negativos de  $\delta^{13}C$ . Esses valores são característicos deste ciclo e variam de  $-22\text{‰}$  a  $-32\text{‰}$  (Figura 1), com uma média de  $-27\text{‰}$  (BOUTTON, 1991; O'LEARY, 1988).

#### 1.1.2.2. Fracionamento isotópico do carbono em plantas $C_4$

As plantas do ciclo  $C_4$  são representadas predominantemente por gramíneas de origem tropical e subtropical, compreendendo somente 5% de todas as espécies de plantas. As gramíneas  $C_4$  são correlacionadas a ambientes com altas temperaturas e alta luminosidade, predominando em regiões de savanas. Plantas  $C_4$  reduzem o  $CO_2$  para ácido málico ou aspártico, ambos sendo compostos por 4 carbonos, via enzima fosfoenolpiruvato (PEP) carboxilase. Bender (1968,1971) descobriu que plantas  $C_4$  são isotopicamente distintas de plantas  $C_3$ . Durante a fotossíntese este ciclo discrimina menos  $^{13}CO_2$  e portanto apresenta valores maiores de  $\delta^{13}C$ , entre  $-17\text{‰}$  a  $-9\text{‰}$  (Figura 1), com uma média de  $-13\text{‰}$  (BOUTTON, 1991; O'LEARY, 1988).



**Figura 1** – valores isotópicos do carbono característico dos diferentes ciclos fotossintéticos ( $C_3$ ,  $C_4$  e CAM). As barras indicam a abundância de espécies na natureza que realizam cada ciclo (dados extraídos de Boutton, 1996).

### 1.1.2.3. Fracionamento isotópico do carbono em plantas CAM

Plantas CAM compreendem aproximadamente 10% de todas as espécies de plantas (alguns exemplos são as famílias Cactaceae, Euphorbiaceae e Bromeliaceae) sendo geralmente plantas suculentas (KLUGE & TING, 1978). Dominam em ambientes desérticos e habitats epifíticos. Estas plantas fecham o estômato durante o dia e abrem a noite para fixar CO<sub>2</sub>, utilizando os mecanismos de fixação de carbono similares ao realizados pelas plantas C<sub>4</sub>. Entretanto algumas espécies (CAM facultativa) podem realizar o ciclo C<sub>3</sub> sobre apropriadas condições ambientais (OSMOND et al., 1982). Plantas CAM facultativas tem valores de  $\delta^{13}\text{C}$  que variam de -28‰ a -10‰ (Figura 1), dependendo das condições ambientais (BOUTTON, 1991; O'LEARY, 1988).

### 1.1.3. Fracionamento isotópico durante a decomposição da matéria orgânica

A matéria orgânica dos solos pode ser mais enriquecida (1-3‰) em <sup>13</sup>C em relação à fonte de material de origem, com aumento da profundidade de um perfil de solo (STOUT et al., 1981). Provavelmente a decomposição através de atividade microbiana seja responsável por esta variação (BOUTTON, 1996). Como a diferença isotópica do carbono entre plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> difere aproximadamente em 14‰ (Figura 1), o fracionamento devido à decomposição da matéria orgânica não prejudica na interpretação da origem de sua fonte (plantas C<sub>3</sub> ou C<sub>4</sub>) em maiores profundidades de um perfil de solo ou sedimento estudado.

#### 1.1.4. Isótopo radioativo ( $^{14}\text{C}$ )

---

O isótopo radioativo  $^{14}\text{C}$  é formado naturalmente, na alta atmosfera, através da interação de nêutrons (provenientes de colisões de raios cósmicos, principalmente partículas  $\alpha$ , de alta energia, com átomos da atmosfera terrestre) com o isótopo estável de  $^{14}\text{N}$ :



A taxa de produção de  $^{14}\text{C}$  corresponde a 2 átomos por centímetro cúbico a cada segundo. O  $^{14}\text{C}$  então é oxidado ( $^{14}\text{CO}_2$ ) e entra no ciclo global do carbono, sendo assimilado por todos os seres vivos. A assimilação ocorre na forma direta (no caso de plantas pela fotossíntese), ou indiretamente (por exemplo, animais herbívoros e carnívoros). O  $^{14}\text{CO}_2$  também dissolve-se na água e está disponível aos peixes, plâncton, corais, etc. Deste modo, todo ser apresenta incorporação constante de carbono radioativo durante a vida, sendo que há um equilíbrio entre a atividade específica do  $^{14}\text{C}$  em relação à do ambiente sendo que a relação  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  de todos os seres vivos é observada na mesma proporção (LIBBY, 1995). Porém, com a morte, a assimilação de  $^{14}\text{C}$  cessa. Como o  $^{14}\text{C}$  desintegra-se com meia-vida de 5.730 anos, emitindo um partícula  $\beta$  e transformando-se novamente em  $^{14}\text{N}$ , a idade da amostra pode ser determinada em razão da atividade residual da amostra (uma amostra recente apresenta uma atividade de cerca de 13,6 dpm/gC), sendo que esta atividade tende a diminuir exponencialmente com o aumento do tempo em que a amostra parou de assimilar  $^{14}\text{C}$ , de acordo com a equação:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

A = atividade da amostra

$A_0$  = atividade inicial (padrão ácido oxálico)

$\lambda$  = constante de desintegração

t = tempo (idade da amostra)

A atividade do material a ser analisado pode ser determinada através de espectrômetros e conseqüentemente a idade definida:

$$t = - 8,033 \ln \frac{A}{A_0}$$

A base conceitual do método de datação por  $^{14}\text{C}$  é creditada a Willard F. Libby, que em 1960 recebeu o prêmio Nobel de Química pela descoberta. Este método tem sido a principal ferramenta para a determinação da idade de amostras de interesse arqueológico, geológico e paleontológico dos últimos 57.000 anos (correspondente ao Holoceno e Pleistoceno Superior)

Com a caracterização isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) da vegetação de cobertura atual dos pontos de estudo na Ilha de Marajó juntamente com a caracterização da MOS e sedimentos a diferentes profundidades foi possível determinar a dinâmica da vegetação (em termos de ciclos fotossintéticos) através do tempo. A datação  $^{14}\text{C}$  da fração húmica dos solos forneceu a cronologia destes eventos.

## 1.2. APLICAÇÃO DOS ISÓTOPOS DE NITROGÊNIO

### 1.2.1. Isótopos estáveis ( $^{14}\text{N}$ e $^{15}\text{N}$ ) e razão C/N

---

Os isótopos estáveis de nitrogênio são geralmente menos utilizados em estudos paleoambientais do que os isótopos do carbono, devido a maior complexidade do ciclo do nitrogênio e a pequena discriminação isotópica observada na natureza (BOUTTON, 1996).

O nitrogênio orgânico ocorre abundantemente em plantas não vasculares (como por exemplo fitoplâncton e bactérias). Lignina e celulose, os quais são componentes dominantes de plantas vasculares (principalmente terrestres) são pobres em nitrogênio. Deste modo a razão C/N da matéria orgânica dos sedimentos é utilizada para distinguir suas duas principais origens: a. algas e fitoplânctons, com razões entre 4 e 10 e b. plantas terrestres com razões maiores ou igual a 20. (MEYERS, 1994).

A composição isotópica do nitrogênio também pode auxiliar na origem das fontes da matéria orgânica (WILSON et al., 2005). Para a definição do  $\delta^{15}\text{N}$ , a seguinte equação é utilizada:

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = \left( \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} \right) \times 1000$$

onde  $R = ^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$

Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  da matéria orgânica de sedimentos apresentam diferenças quando sua origem representa plantas aquáticas (algas, com valores de +8,5‰) ou plantas terrestres  $\text{C}_3$  (+0,5‰). (PETERSON & HOWARTH, 1987).

A composição isotópica do nitrogênio e carbono ( $\delta^{15}\text{N}$  x  $\delta^{13}\text{C}$ ) também pode auxiliar na interpretação do ambiente de deposição da matéria orgânica (CLOERN et al., 2002).

### 1.3. MICROFÓSSEIS

Os microfósseis (grãos de pólen e esporos) nos sedimentos holocênicos (superficiais) no setor leste da Ilha de Marajó são relativamente raros e quando encontrados não apresentam estado de conservação adequado, prejudicando sua identificação e interpretação paleoambiental.

Entretanto em um paleocanal da região central da Ilha, foram encontradas com frequência outra categoria de microfósseis: as espículas de esponjas.

As esponjas (Filo Porifera) são animais bentônicos sésseis (fixos no substrato). São sustentados por um esqueleto mineral formado por espículas, que são estruturas de sílica (opala), principalmente quando as espécies derivam de água doce ou de carbonato de cálcio (dominante quando as espécies são marinhas).

As esponjas podem basicamente apresentar três diferentes tipos espículas denominadas de megascleras, microscleras e gemoscleras (VOLKMER-RIBEIRO & PAULS, 2000). As megascleras são espículas que integram a rede esquelética da esponja. As microscleras também estão presentes no esqueleto, porém são espículas menores. As gemoscleras são espículas presentes na parte externa da gêmula, as quais ultimamente definem famílias, gênero e espécies em esponjas de água doce.

Em áreas continentais as esponjas podem ocorrer tanto em ambientes de alta energia (rios) como em ambiente de baixa energia (lagos). As espículas silicosas apresentam bom potencial de preservação em sedimentos. Através da análise das espículas (principalmente das gemoscleras) em sedimentos é possível identificar as espécies de esponjas a qual deram origem e juntamente com datação  $^{14}\text{C}$  verificar variações hidrodinâmicas através do tempo geológico no corpo aquoso estudado. Como exemplo, na região do Rio Esperança (MS) foram identificadas quatro espécies: *Heterorotula fistula*, *Radiospongilla amazonensis*, *Corvospongilla sekti* e *Trochospongilla repens*. As duas primeiras são típicas de ambientes lênticos e as duas últimas de ambientes lóticos (alta energia). A alternância destes dois pares de espécies na coluna sedimentar indicam pulsos de inundação claramente demarcados pela presença de *Corvospongilla sekti* e *Trochospongilla repens* (cerca de 4.010 anos AP). (PAROLIN et al., 2007).

Como todo estudo envolvendo microfósseis do Holoceno para interpretações paleoambientais é necessário o conhecimento do ambiente em que cada espécie se desenvolve. Estudos de Tavares (1994) envolveu a caracterização de comunidades de esponjas atuais de substratos rochosos de rios amazônicos. Entre as espécies descritas para esta região podemos citar as encontradas no Rio Tocantins: *Spongilla spoliata*, *Trochospongilla repens*, *Corvospongilla seckti*, *Drulia uruguayensis*, *Drulia ctnosclera* e *Oncosclera navicella*.

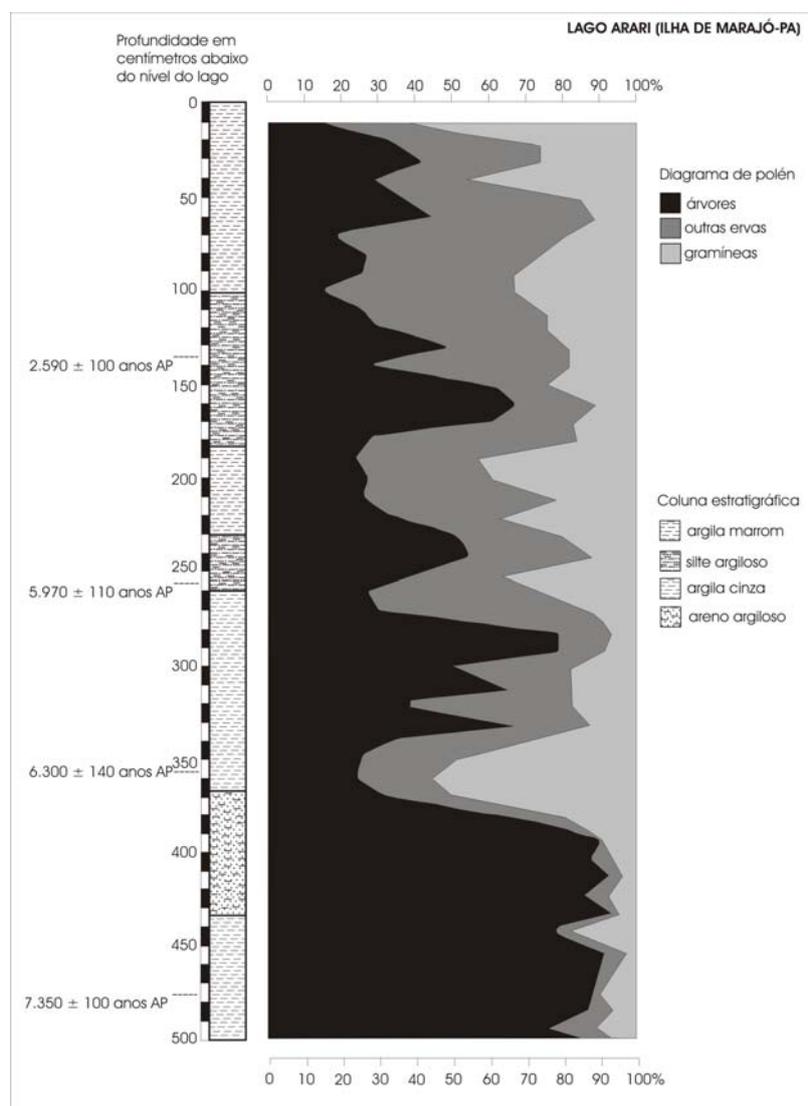
#### **1.4. INDÍCIOS DE VARIAÇÕES CLIMÁTICAS NA REGIÃO AMAZÔNICA DURANTE O QUATERNÁRIO TARDIO**

A Amazônia representa a área das bacias hidrográficas dos Rios Amazonas, Solimões e seus afluentes, localizada em uma zona equatorial (quente e úmida), ocupando uma área de aproximadamente 6 milhões de km<sup>2</sup>, com domínio de floresta densa. Neste meio, entretanto, ocorrem pequenas áreas ocupadas por campos, com vegetação adaptada a ambientes secos. Tais campos são indícios que a Floresta Amazônia não permaneceu estável durante os últimos milhares de anos e a instalação de climas mais secos que o atual favoreceu a implantação/expansão de campos nesta região. Estudos envolvendo a dinâmica da vegetação através dos isótopos de carbono da matéria orgânica de solos do sul do estado do Amazonas (Humaitá) e Rondônia, em uma zona de contato entre a floresta e os campos naturais, indicam condições climáticas mais secas no período de aproximadamente 9.000-3000 anos AP, que favoreceu a regressão da floresta e expansão da vegetação de campos (GOUVEIA et al., 1997; FREITAS et al., 2001; PESSENDA et al., 2001; VIDOTTO, 2003).

Outro indício da atuação de um clima mais seco na Amazônia, de caráter sedimentológico, foi registrado na região central do estado de Roraima. A existência de paleodunas e o período de atividade das mesmas foram relatadas por Carneiro Filho et al. (2003). Estes campos de paleodunas são facilmente identificados em imagens de satélite, por apresentar vegetação de gramíneas, contrastando da vegetação arbórea densa ao redor. Provavelmente esta região sofreu condições climáticas drásticas, mais secas, que impossibilitou a instalação de vegetação e, devido o solo ser constituído por material essencialmente arenoso e a presença de corrente de vento, favoreceram a formação de campos de dunas entre 32,6 mil e 7,8 mil anos atrás (datação obtidas pelo método da termoluminescência), algumas atingindo até 35 metros de altura, hoje desativadas. Cabe ressaltar que a área de formação destas dunas está restrita ao chamado Corredor Seco da Amazônia, constituído por uma faixa que atualmente ainda apresenta as menores médias pluviométricas da Amazônia (menores que 2000 mm/ano).

Na Ilha de Marajó (PA) há registros polínicos que mostram uma diminuição abrupta em 6.300 ± 140 anos AP da vegetação arbórea (representada por 90% dos grãos de pólen encontrados nos

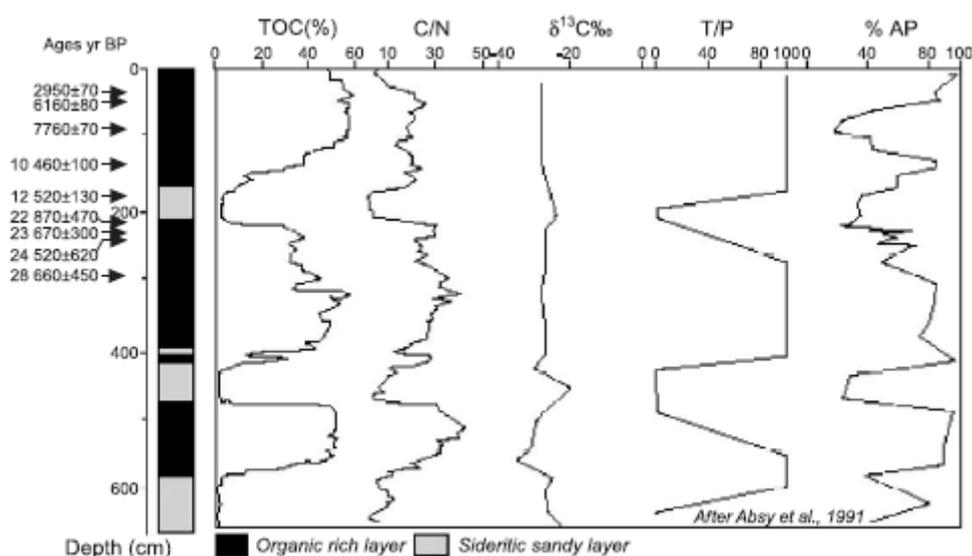
sedimentos do Lago Arari, no intervalo de aproximadamente de 3,5 a 5,0 metros) para uma vegetação constituída por gramíneas (Figura 2) e outras ervas (com apenas 25% de grãos de pólen arbóreos). Como os grupos arqueológicos ceramistas ocuparam a região da Ilha somente em aproximadamente 5.000 anos AP, a intervenção antrópica como explicação foi descartada e esta variação foi interpretada pelos autores como sendo o resultado da implantação de um clima seco na região neste período (MEGGERS & DANON, 1988).



**Figura 2** - Diagrama de pólen e coluna estratigráfica dos sedimentos do Lago Arari, região nordeste da Ilha de Marajó (Meggers & Danon, 1988).

Estudos envolvendo sedimentologia, palinologia e os isótopos de carbono e nitrogênio (Figura 3) foram realizados em testemunho de sedimento lacustre de 6,5 m (Lago Carajás, no estado do Pará) de modo a obter inferências sobre as variações climáticas e vegetacionais nesta região

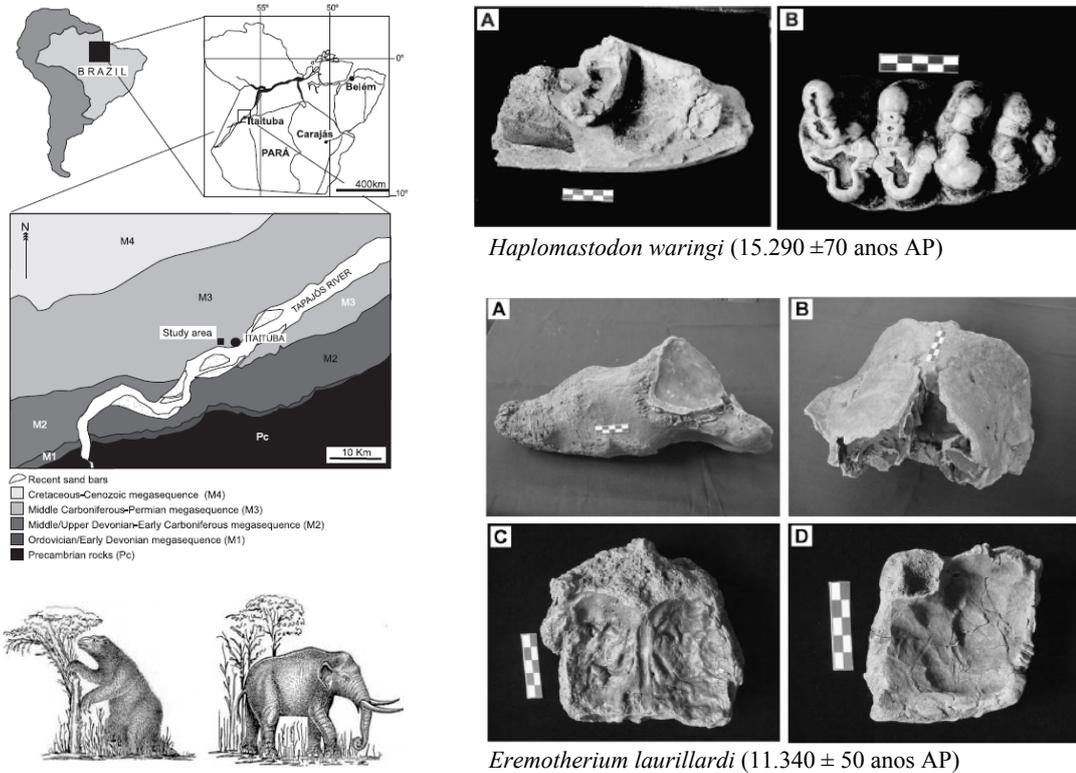
(SIFEDDINE et al. 2004). Foram definidas quatro seqüências sedimentares, sendo cada seqüência constituída por uma camada basal arenosa rica em quartzo, hematita e siderita, sotoposta por uma camada argilosa rica em matéria orgânica. Os intervalos arenosos apresentam teores de carbono orgânico total (COT) menores que 2%, baixa quantidade de pólen arbóreo (aproximadamente 20%) e muito baixa razão T/P (terrestre/planctônico). Os intervalos argilosos apresentam valores de COT na ordem de 50-60%, alta razão T/P e alta quantidade de grãos de pólen arbóreo (aproximadamente 80%), exceto no intervalo médio da unidade superior argilosa, que atinge 20 % (7760 ± 70 anos AP). Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  são empobrecidos em todo o perfil (ao redor de -26‰), entretanto um pequeno aumento é observado nas camadas sideríticas. Através dos resultados das análises os autores atribuíram a deposição de camadas de argila orgânica à fases de desenvolvimento da floresta em condições climáticas úmidas (com exceção da unidade superior, onde há queda da quantidade de grãos de pólen arbóreo entre 10460 ± 100 anos AP a 7760 ± 70 anos AP).



**Figura 3** – Descrição simplificada dos sedimentos do perfil amostrado no Lago Carajás (PA), comparado com análises de COT, C/N,  $\delta^{13}\text{C}$ , Terrestre/Planctônico (T/P) e Pólen Arbóreo (AP), Sifeddine et al., 2004.

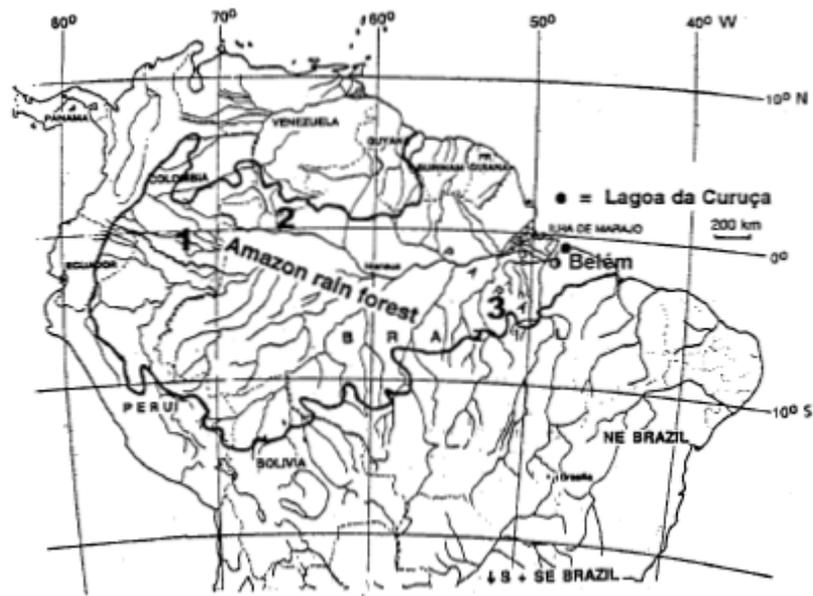
Registros paleontológicos de *Haplomastodon waringi* (mastodonte) e *Eremotherium laurillardi* (preguiça gigante) datados de 15290 ± 70 anos AP e 11340 ± 50 anos AP respectivamente (Figura 4), foram encontrados na porção centro oeste do Pará (atualmente ocupada por floresta densa).

Estas espécies habitavam regiões de savana e borda de floresta e são indicativos da substituição da floresta por campos nesta época (ROSSETTI et al., 2004).



**Figura 4** -Registros paleontológicos de *Haplomastodon waringi* (mastodonte) e *Eremotherium laurillardi* (preguiça gigante) em região do Pará ocupada atualmente por floresta (Rossetti et al., 2004).

Existe evidência de *Podocarpus* nas terras baixas da Amazônia durante os períodos glaciais (Figura 5). A ocorrência de *Podocarpus* na região costeira da Amazônia durante o Glacial Tardio indica uma mais fria condição para esta região neste tempo (BEHLING, 2001). Os registros são derivados dos sedimentos da Lagoa da Curuçá, no Pará (BEHLING, 1996) e da região central da Amazônia brasileira, no Morro dos Seis Lagos, no Amazonas (COLINVAUX et al., 1996). Há evidências na Amazônia colombiana, no Pântano de Mônica I (BEHLING et al., 1999) e na Amazônia oriental, na região de Carajás, Pará (Figura 5).



**Figura 5:** mapa mostrando a extensão da Floresta Amazônica (área delimitada pela linha). A localização dos pontos onde grãos de pólen de *Podocarpus* de idade glacial têm sido encontrados são mostrados pelos números: (1) Pântano de Mônica, (2) Morro dos Seis Lagos e (3) Carajás. (extraído de Behling, 2001)

Após a passagem do período do Último Máximo Glacial, o início do Holoceno na Amazônia (a partir de 10.000) é marcado por um aumento na temperatura, como registrado através da diminuição de *Podocarpus* e outros táxons subtropicais nos registros polínicos da Lagoa da Pata, no norte do Amazonas (DE OLIVEIRA, 1996), Lago de Maicuru (DE OLIVEIRA & CURTIS, 2001) e no delta do Rio Amazonas (HABERLE & MASLIN, 1999).

No Médio Holoceno também são freqüentes a ocorrência de grande concentração de partículas carbonizadas nos sedimentos, indicativas de paleoincêndios. Em Carajás (PA), Sifeddine et al. (1994) e Cordeiro (1995) estudaram estas ocorrências e concluem a existência de um clima mais seco entre 7.000 e 4.000 anos AP. Na Lagoa da Pata (AM) há uma significativa concentração de partículas carbonizadas, por volta de 5.500 anos AP.

Portanto vários estudos de caráter biológico, geológico, paleontológico e também isotópico, mostram indícios que um clima mais seco dominou a região Amazônica no Pleistoceno Superior (UMG) e Holoceno Médio.

## 1.5. VARIAÇÕES DO NÍVEL DO MAR NA ZONA EQUATORIAL DA AMÉRICA DO SUL DURANTE O QUATERNÁRIO TARDIO

Existem poucos trabalhos que relatam as variações do nível do mar na região norte da América do Sul durante o Quaternário Tardio. As contribuições bibliográficas são derivadas principalmente de estudos palinológicos. Este item está baseado no trabalho de Rodrigues & Senna (2005) as quais realizaram uma síntese dos resultados dos trabalhos referentes à mudanças do nível do mar na planície costeira da Amazônia, incluindo regiões da Venezuela, Guiana, Guiana francesa, Suriname e Brasil.

Na Venezuela foram estudados os sedimentos costeiros de Playa Medina (RULL et al., 1999). Em aproximadamente 7.000 anos AP, foi detectada uma transgressão marinha, sendo que espécies de savanas (Sapotaceae, Myrtaceae e Anacardiaceae) foram substituídas por espécies de mangue (com predomínio de *Rhizophora*).

Estudos de Van der Hammen (1963) na planície costeira da Guiana mostram grandes variações da vegetação observadas através de diagramas polínicos. Há 45.000 anos AP a planície era dominada por mangues que, posteriormente, foram substituídos por savana herbácea (relacionada a regressão marinha e clima seco entre 18.000 e 13.000 anos AP). O aumento do nível do mar datado em 8.600 anos AP é representado pelo aparecimento de *Avicennia*, seguido de pólen de *Rhizophora*.

Em sítios arqueológicos do Suriname (Hertenrits), Roeleveld & Van Loon (1969) mostram um progressivo aumento do nível do mar, datado em torno de  $10.304 \pm 100$  anos AP que favoreceu a formação de bosques de mangues com domínio de *Rhizophora*.

Segundo Tissot et al. (1988) a análise palinológica de testemunhos na Guiana Francesa revelam uma transgressão marinha holocênica entre 9.000 e 5.000 anos AP (domínio do pólen de *Rhizophora*), substituídos posteriormente a partir de 5.000 anos AP por grãos de pólen indicadores de savana inundável (Cyperaceae e Gramineae).

No Brasil existem estudos realizados na planície costeira dos Estados do Pará e Maranhão. Estudos de Behling & Costa (1997) envolvendo diagramas polínicos e datações  $^{14}\text{C}$  em sedimentos do

Lago Aquiri (MA) indicam a ocorrência de manguezais caracterizando uma transgressão marinha entre 7.450 e 6.700 anos AP.

O diagrama polínico realizado por Behling & Costa (2001) nos sedimentos do Lago Crispim (PA) revelou a presença de floresta densa (pólen de *Symphonia*, *Virola*, *Clusia* e *Byrsonima*) em 7.640 anos AP. Entre 6.620 e 3.630 anos AP há um decréscimo do pólen de espécies de manguê e aumento de pólen de *Mauritia/Mauritiella*, indicando provável regressão marinha. Em aproximadamente 3.630 anos AP houve uma transgressão marinha favorecendo a formação de manguezais próximos ao lago.

A partir de estudos em três áreas de manguezal na península de Bragança (PA), Behling et al. (2001), demonstram que houve substituição em 5.200 anos AP de ecossistema florestal por manguezais. Registros datados em 5.120 anos AP apontam a cobertura da porção mais elevada da península por manguê sugerindo o mais alto nível marinho.

Na Lagoa Curuçá foi verificada a presença de manguê entre 7.250 e 5.600 anos AP (BEHLING, 2001). A partir de 5.500 anos AP houve a substituição de manguê (*Rhizophora*) por palmeiras, *Mauritia/Mauritiella*, Aracaceae, sugerindo um evento regressivo. Em 3.100 anos AP ocorre um novo evento transgressivo.

Na Ilha de Marajó (PA), Behling et al. (2004) indicam a ocorrência de vegetação de manguê em 2.750 anos AP em Barra Velha e em 650 anos AP na Praia do Pesqueiro.

Os estudos palinológicos na costa amazônica registram três variações do nível do mar durante o Holoceno. O evento transgressivo culminou em aproximadamente 5.000 anos. O processo regressivo inicia-se em 5.000 anos AP e finaliza em aproximadamente entre 2.500 e 2.170 anos AP. O último episódio (nova transgressão) ocorre a partir de 2.170 anos AP, caracterizado pela retomada de antigos espaços de água doce por bosques de manguê. (RODRIGUES & SENNA, 2005)



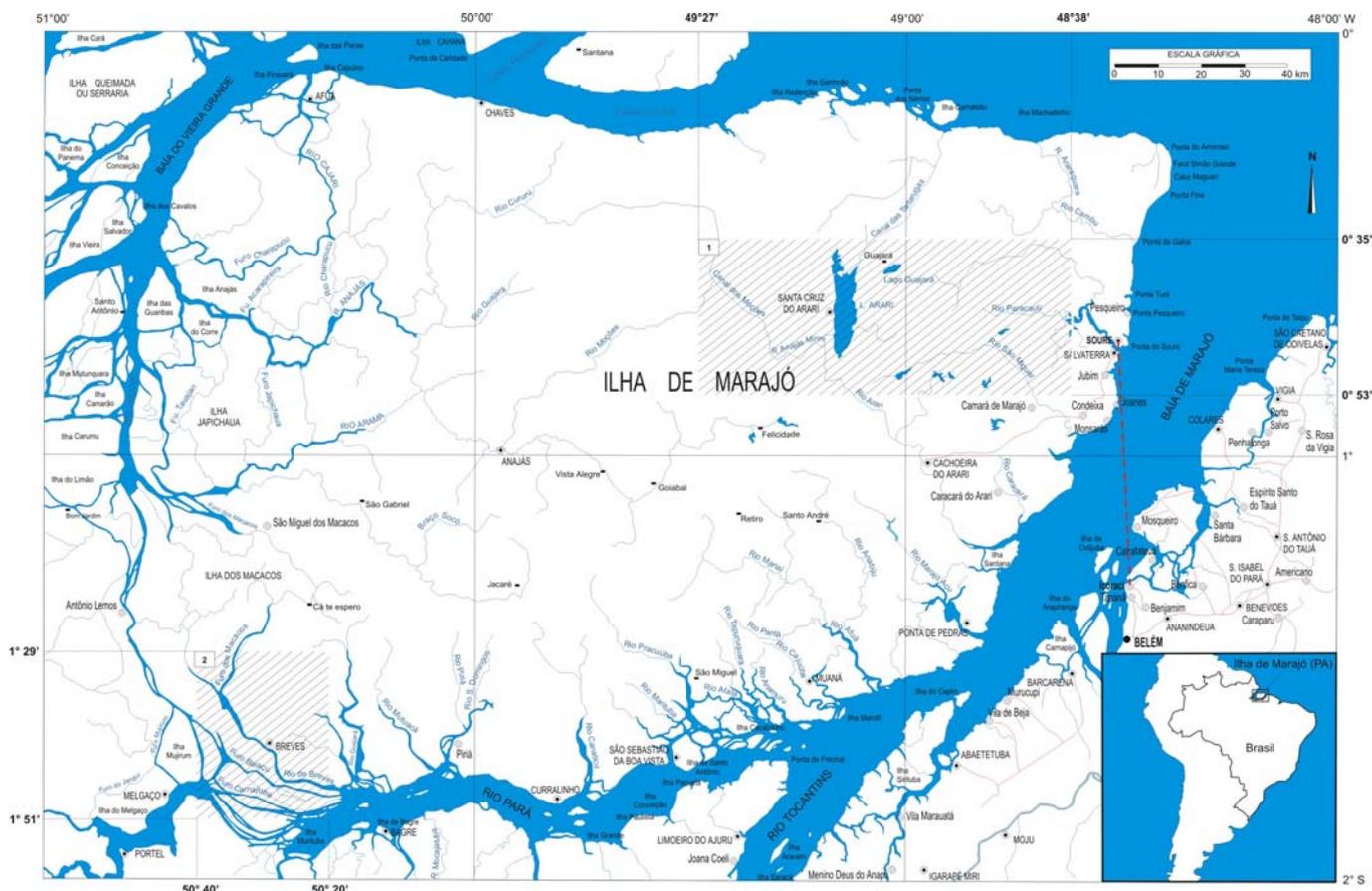
## *Capítulo 2*

*Características  
fisiográficas e geológicas  
da Ilha de Marajó (PA)*

## 2.1. A ÁREA EM ESTUDO

### 2.1.1. Localização e vias de acesso

A Ilha de Marajó localiza-se no norte do Estado do Pará, na foz dos rios Amazonas e Tocantins, se distanciando aproximadamente 30 km da capital do estado (Belém). A travessia da Baía de Marajó é feita através de balsa, que partindo da cidade de Icoraci, realiza um percurso de 87 km até a cidade de Soure (nordeste da ilha). A partir de Soure até a área I de estudo (delimitada pelos paralelos  $0^{\circ}35' S$  e  $0^{\circ}53' S$  e pelos meridianos  $48^{\circ}38' W$  e  $49^{\circ}27' W$ ), nos arredores de Santa Cruz do Arari (Figura 6), todo o trajeto é realizado em estradas de terra em boas condições de tráfego (na estação da seca), que interligam as cidades e vilarejos da região. A área I de estudo (nordeste da ilha de Marajó) está incluída na folha topográfica de Soure (SA-22-X-B), em escala de 1:250.000, editada pela Diretoria de Serviços Geográficos (DSG - 4<sup>a</sup> Divisão de Levantamento).



**Figura 6** – mapa de localização da Ilha de Marajó e as áreas em estudo I e II nos arredores de Santa Cruz do Arari e Breves (base cartográfica extraída do RADAMBRASIL, 1974).

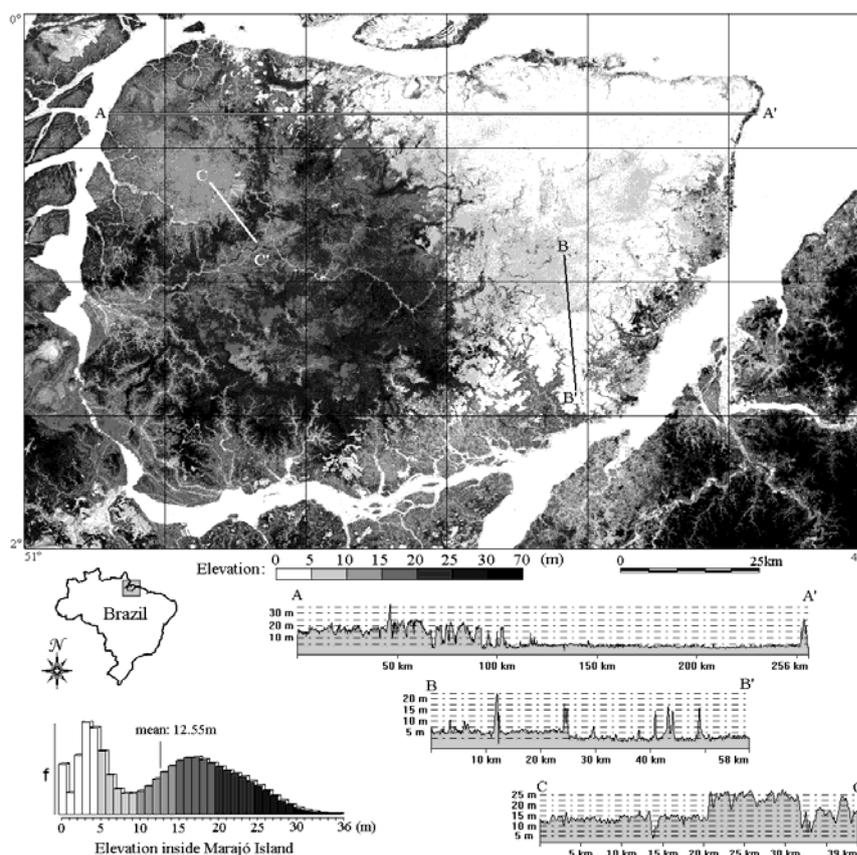
A área II em estudo (Figura 6), nos arredores da cidade de Breves (sudoeste da Ilha) e delimitada pelos paralelos  $1^{\circ}29' S$  e  $1^{\circ}51' S$  e meridianos  $50^{\circ}20' W$  e  $50^{\circ}40' W$  é atingida através de via fluvial, com embarcação partindo da cidade de Belém, em um percurso de aproximadamente 200 km através do Rio Pará. A folha topográfica que abrange esta região foi editada pela Diretoria de Serviços Geográficos (Portel SA-22-X-C, em escala 1:250.000).

## 2.1.2. Aspectos fisiográficos

### 2.1.2.1. Relevo

A Ilha de Marajó faz parte da Unidade de Relevo denominada de Planície Amazônica. Esta unidade forma uma faixa nas duas margens do Rio Amazonas, alargando-se na foz nas inúmeras ilhas (incluindo Marajó - RADAMBRASIL, 1974).

A ilha pode ser dividida em dois compartimentos distintos entre si (Figura 7). A porção oriental apresenta topografia plana, com cota média ao redor de 4m, sendo constituída por sedimentação holocênica de origem fluvial/estuarina e lacustre. A porção ocidental (com as maiores elevações topográficas), apresenta uma média de 20m, chegando a atingir 42m. Esta região é representada por sedimentos Pós-Barreiras, tidos como de idade plio-pleistocênica (ROSSETTI & TRUCKENBRODT 1997; ROSSETTI, 2004). Esta unidade também aparece no extremo leste da Ilha, formando uma estreita faixa.



**Figura 7** – modelo de elevação da ilha de Marajó (hipsometria, histogramas e transectos) – Rossetti & Valeriano, 2007

#### 2.1.2.2. Hidrografia

Os rios Jacaré, Pará e Tocantins separam a Ilha de Marajó do continente. O Lago Arari, com aproximadamente 100 km<sup>2</sup> é uma feição marcante na área de estudo. Também ocorrem outros lagos, de dimensões menores, todos localizados no nordeste da Ilha. A planície (porção oriental da Ilha) tem partes sujeitas à inundações periódicas, em épocas de maior índice pluviométrico. Nesta região destacam-se os inúmeros paleocanais facilmente identificáveis em imagens de satélite. Os principais rios da área em estudo são: Moções, Arari, São Miguel e Paracauti (borda leste).

#### 2.1.2.3. Solos

Os solos encontrados na região da Ilha de Marajó apresentam material de origem sedimentar. Na planície de inundação do setor leste foram descritos gleissolos e vertissolos por Cerri & Volkoff (1998).

No mapeamento realizado pelo IBGE (2002), os solos no domínio de paleocanais foram classificados como neossolos flúvicos. No extremo leste da Ilha há ocorrência significativa de plintossolos, material semelhante também encontrado no setor oeste da ilha.

#### 2.1.2.4. Vegetação

Ocorrem dois principais domínios de vegetação. A porção oriental da Ilha, dominada pelas planícies inundáveis, é recoberta por diversos tipos de campos enquanto a porção ocidental é recoberta por floresta densa.

O cerrado *sensu stricto*, localizado no extremo leste da área em estudo (nas proximidades da cidade de Salvaterra), é caracterizado por árvores tortuosas, acima de 5 m de altura, dispersas, instaladas em solos deficientes em nutrientes e aluminizados. A vegetação de gramínea é significativa.

As espécies *Ipomoea carnea* (arbusto) e *Ipomoea asarifolia* (erva) aparecem significativamente na maioria dos campos naturais da Ilha, em solos argilosos (argilas 2:1), juntamente com outras gramíneas e pequenos arbustos.

Os campos limpos (constituídos somente por gramíneas) estão situados principalmente na área de influência do Lago Arari. Também ocorrem na área de influência de algumas drenagens na região.

Em meio às regiões de campos também ocorre vegetação arbórea, a qual forma extensos cordões. A análise através de imagens de satélites e campo demonstra que este tipo de vegetação encontra-se instalada em sedimentos arenosos que preenchem os inúmeros paleocanais do domínio leste da Ilha.

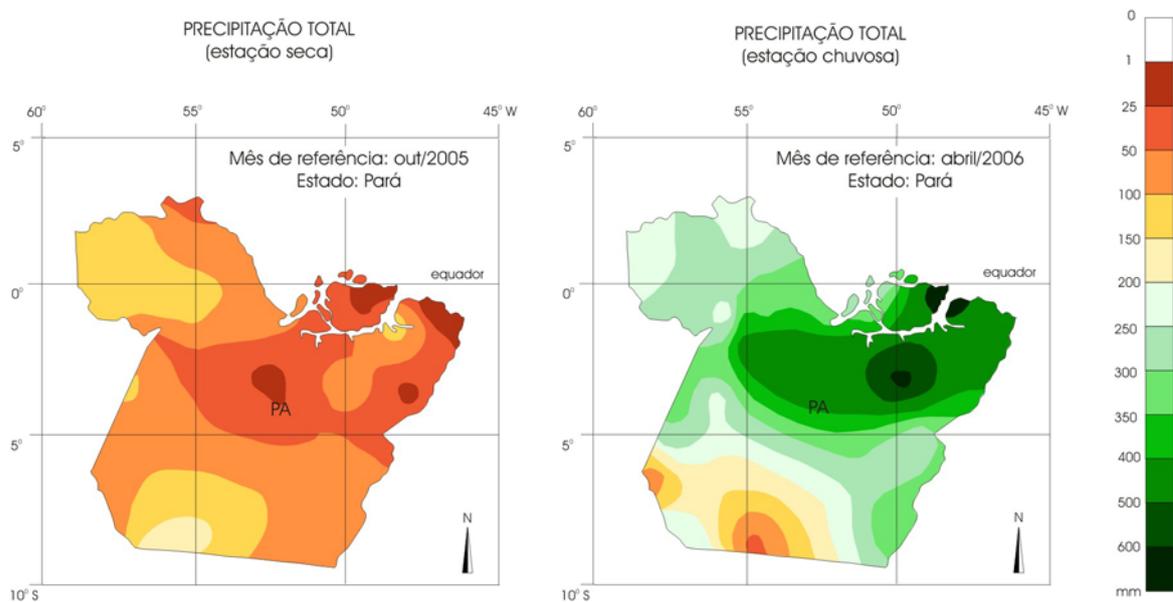
Em contraste com o setor leste, o setor oeste da Ilha de Marajó é recoberta por floresta densa, caracterizada por suas grandes árvores, algumas vezes atingindo mais de 50 metros de altura.

#### 2.1.2.5. Clima

A temperatura anual média da região é de 27<sup>0</sup>C, sendo que o clima, segundo o sistema de classificação de Koppen, pertencente ao subgrupo Af (clima equatorial sempre úmido) na porção ocidental, não apresentando estação seca, com excessivas chuvas sazonais, pluviosidade média na ordem de 2.900 mm e pluviosidade mensal sempre superior a 60 mm.

A porção oriental é caracterizada pelo subgrupo Am (clima equatorial monçônico) com moderada estação seca, possuindo pluviosidade média anual de 2.100 mm e mensal inferior a 60 mm durante mais de dois meses do ano (JAPIASSU & GOES FILHO, 1974; TANCREDI et al., 1975).

Entre os meses de fevereiro a maio ocorrem chuvas frequentes deixando dois terços da ilha completamente alagados. A estiagem ocorre de agosto a outubro sendo caracterizada pela seca do Lago Arari (Figura 8).



**Figura 8** – precipitação total na estação seca e chuvosa no estado do Pará (fonte [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br))

## 2.2. GEOLOGIA REGIONAL

O tópico relacionado à geologia regional e geologia local da Ilha de Marajó torna-se necessário devido à influência de antigas estruturas no controle da paisagem atual e a provável influência no sistema hídrico devido a reativação e/ou formação de novas estruturas em tempos mais recentes, deste modo afetando os domínios de vegetação nesta região.

Os registros sedimentares da região da Ilha de Marajó tem início no Cretáceo Inferior, com a formação da Bacia Marajó (gráben instalado durante a fase de separação do supercontinente Gondwana). Tais sedimentos têm como embasamento os conglomerados, arenitos e argilitos das bacias paleozóicas do Amazonas e Parnaíba (Grupo Trombetas e Grupo Serra Grande, respectivamente). Todo o conjunto está assentado em um embasamento gnáissico-granítico, tido como de idade arqueana (Figura 9).

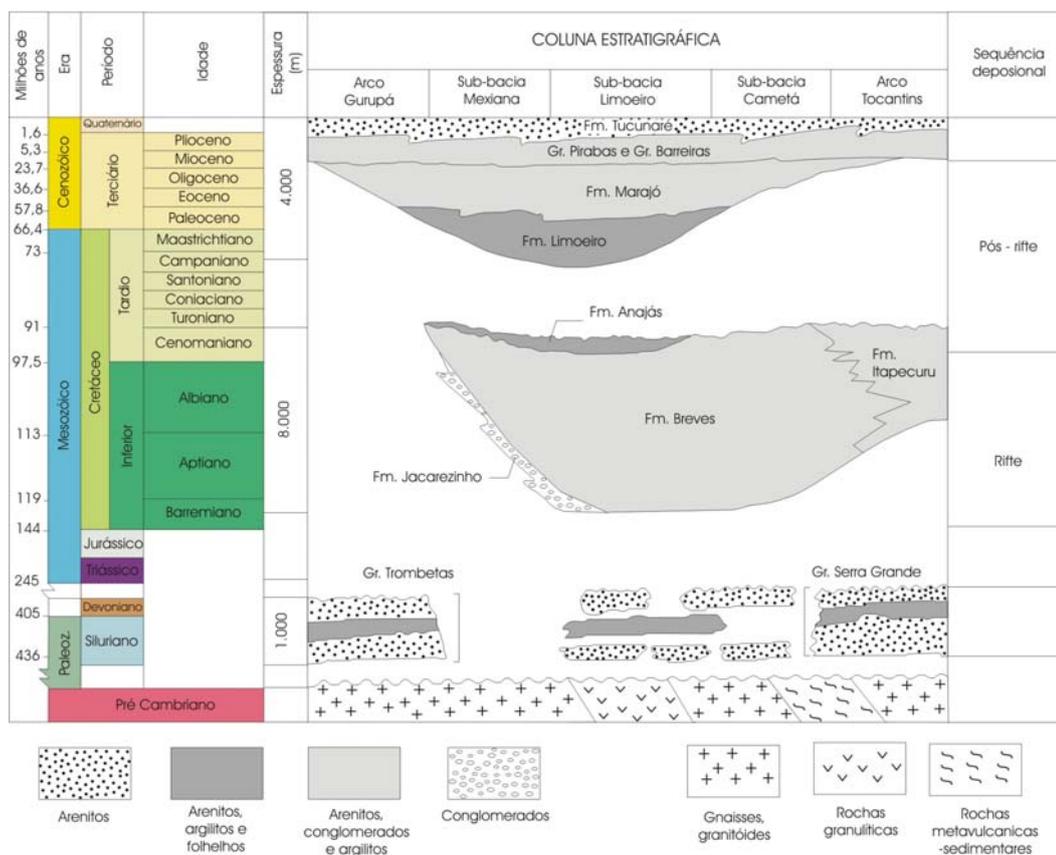
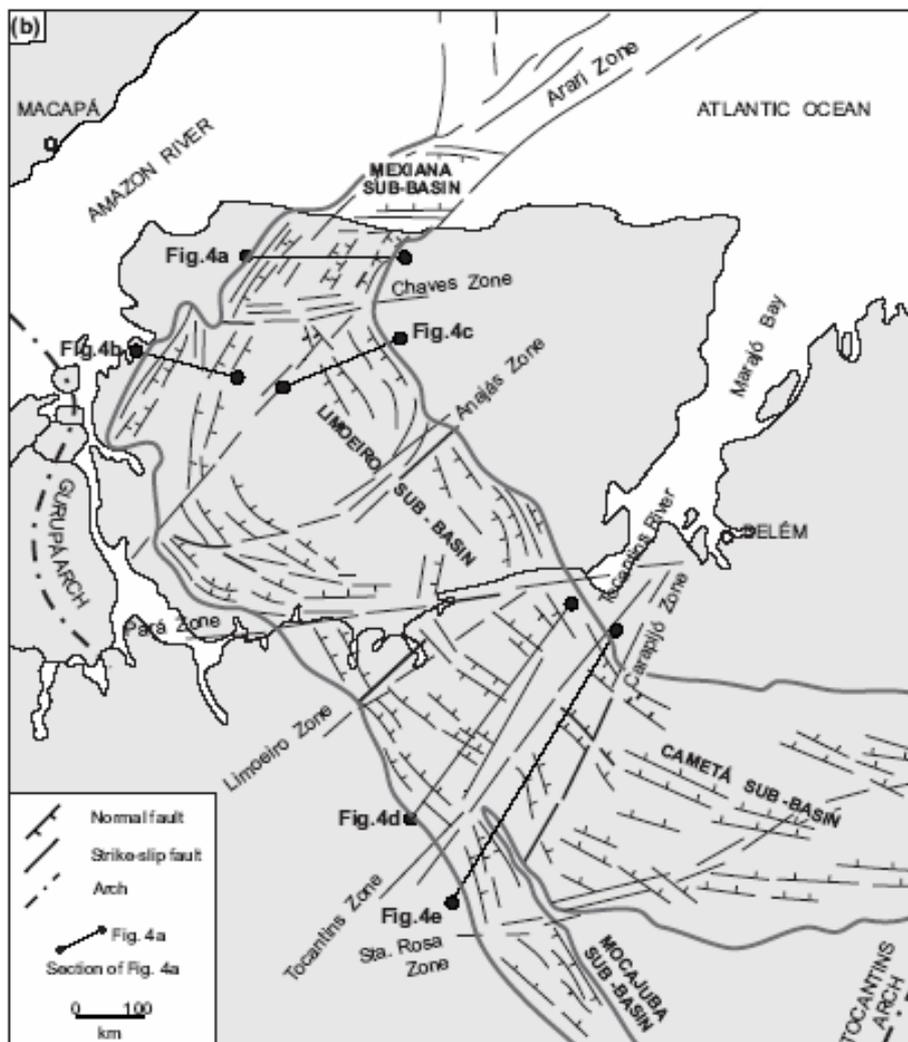


Figura 9 – litoestratigrafia da Bacia de Marajó (Lima 1987, modificado por Costa et al., 2002).

A bacia de Marajó é constituída por quatro sub-bacias (Mexiana, Limoeiro, Cameté e Mocojuba), com falhas normais NW e NNW e transcorrentes NE e ENE (VILLEGAS, 1994), controlando sua geometria (Figura 10). O preenchimento da Bacia de Marajó é composto de uma pilha sedimentar do Cretáceo Inferior ao Oligoceno, atingindo espessura de 11 km (Lima, 1987), sendo dividida entre sequências Rift e Pós-Rift.

As Formações Jacarezinho, Breves e Itapecuru, do Cretáceo Inferior, são as unidades mais antigas da Bacia de Marajó, representando a Sequência Rift, e se estendem até o Cretáceo Superior (Figura 9).



**Figura 10** – Estrutura da Bacia de Marajó (Villegas, 1994).

A sequência Pós- Rift inclui duas unidades maiores (SCHALLER et al. 1971), sendo a inferior denominada de Formação Limoeiro, do Paleoceno, constituída por arenitos e subordinadamente conglomerados e argilitos. A unidade superior é formada por dois pacotes, depositados concordantemente sobre a Fm. Limoeiro e derivados de ambientes deltaicos e fluviais do Eoceno-Plioceno (Fm. Marajó) e Quaternário (Fm. Tucunaré). A parte superior da Fm. Marajó é correlata a Fm. Pirabas, uma sequência de águas marinhas rasas e Fm. Barreiras, uma seqüência transicional que tem sido interpretada como correlacionada a eventos neotectônicos, assim como os depósitos quaternários da Fm. Tucunaré (COSTA et al. 1996).

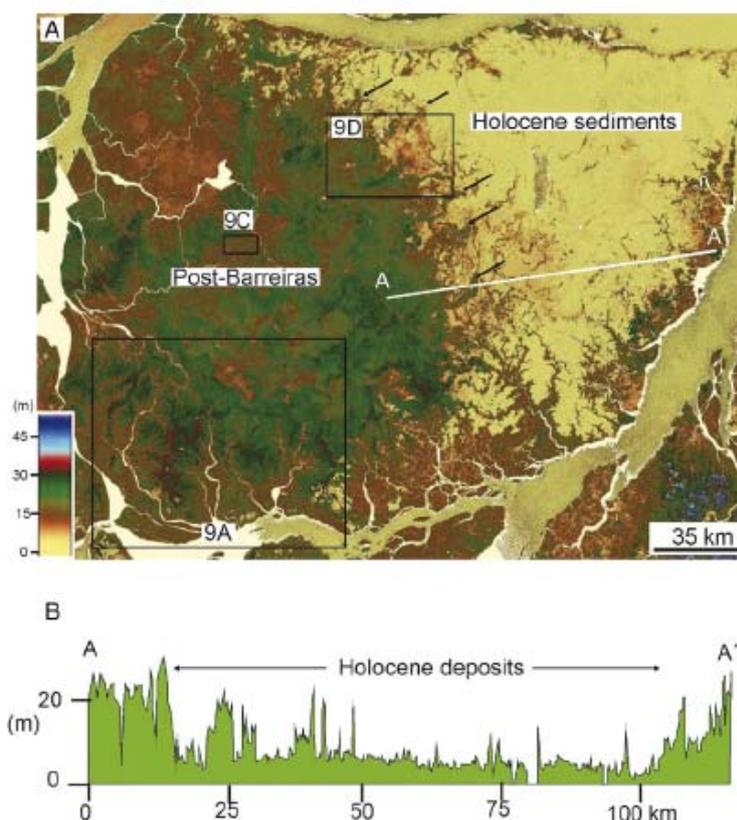
Observando a Fig. 10 referente a estrutura da Bacia de Marajó é possível afirmar que o limite leste da Sub bacia de Limoeiro coincide atualmente com o contato dos sedimentos Plio-Pleistocênicos (Pós Barreiras) com a sedimentação holocênica do oeste da Ilha, indicando reativação de antigas estruturas desta bacia as quais influenciam a geomorfologia atual.

### 2.3. GEOLOGIA LOCAL

O mapeamento e a caracterização da rede de paleocanais por imagens de satélite, dados sedimentológicos e datação  $^{14}\text{C}$  por Rossetti & Valeriano (2007) e Rossetti et al. (2007), geraram importantes informações sobre os mecanismos tectônicos da sedimentação quaternária na região, tornando possível também a reconstrução paleogeográfica da mesma .

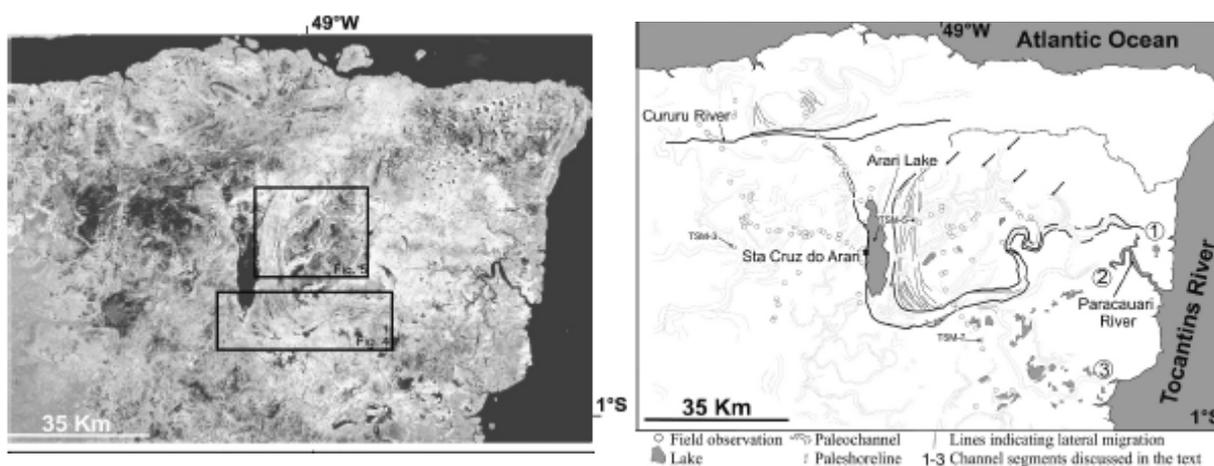
O domínio nordeste da Ilha de Marajó é dominado por depósitos quaternários relacionados a última fase de deposição da sucessão Tucunaré-Pirarucu (VITAL, 1988). Os paleocanais são constituídos por areia fina a média, contendo reservatórios de água doce (BEMERGUY, 1981; PORSANI, 1981). Essa composição difere dos terrenos adjacentes formados por argila e silte, saturados com água salobra (CAVALCANTI, 1979).

A sedimentação holocênica está restrita em uma bacia de origem tectônica, portanto delimitada por falhamentos normais, em contato com sedimentos do lado oeste e no extremo leste, de idade plio-pleistocênicos da Formação Pós-Barreiras (Figura 11 – ROSSETTI & VALERIANO, 2007).



**Figura 11** - Imagem de radar ilustrando o contraste entre os setores leste e oeste da Ilha de Marajó representados por depósitos Pós Barreiras e holocênicos, respectivamente (Rossetti & Valeriano, 2007)

A análise morfológica dos depósitos sedimentares nos arredores do Lago Arari (ROSSETTI et al., 2007), setor holocênico da Ilha, mostram feições exclusivas de um paleoambiente estuarino, ou seja, o moderno lago está instalado sobre uma grande estrutura em forma de funil que termina abruptamente ao norte em contato com uma paleolinha de costa. Ao sul e leste apresenta conexão com um canal meandrante (Figura 12). Associada a esta feição principal, também estão presentes inúmeros outros paleocanais de dimensões menores. Um testemunho sedimentar de 118m coletado na região do Lago Arari mostra três completas sucessões de granodecrescência ascendente. Em 76 m a idade obtida foi de  $30.360 \pm 250$  anos AP. Na base do perfil encontram-se sedimentos típicos da Fm. Barreiras (médio Mioceno), os quais afloram no extremo leste da Ilha de Marajó.

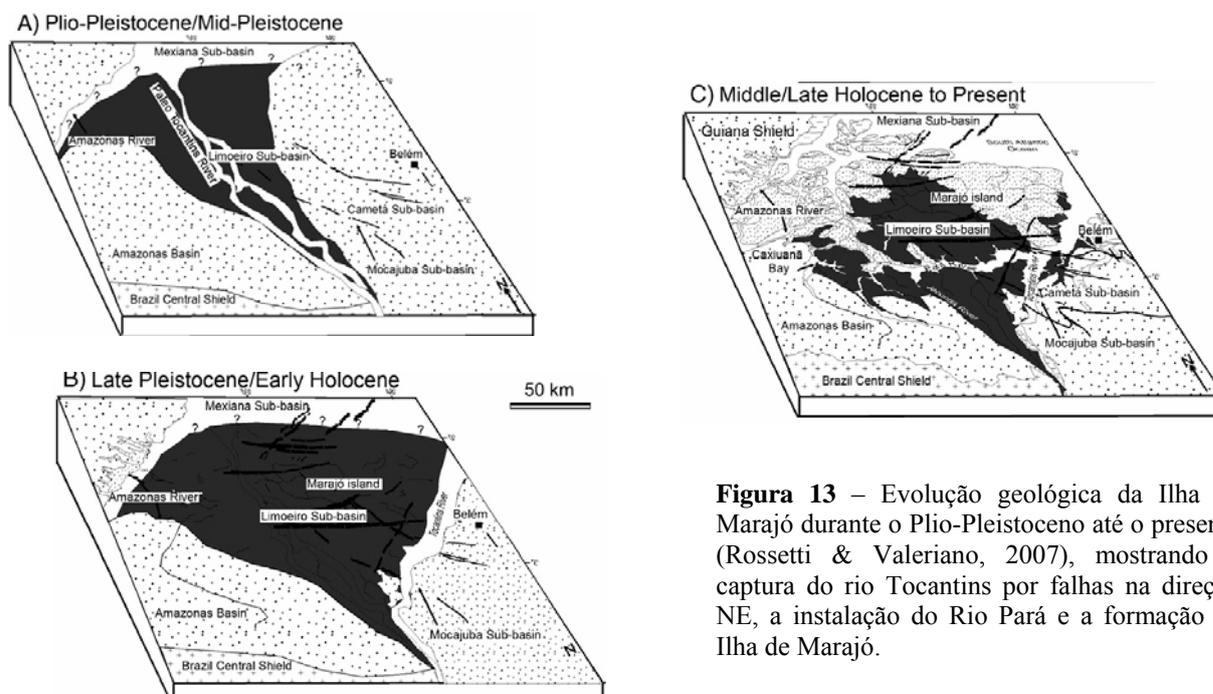


**Figura 12** - Detalhe da estrutura em forma de funil nos arredores do Lago Arari interpretada como sendo pertencente a um sistema deposicional estuarino (Rossetti et al., 2007)

Os autores (ROSSETTI & VALERIANO, 2007; ROSSETTI et al, 2007) atribuem uma conexão da região da Ilha de Marajó com o continente durante a deposição dos sedimentos no sistema estuarino (ou seja durante o Pleistoceno Superior e Holoceno), sendo que provavelmente o Rio Guamá e Tocantins atravessariam a região nesta época.

O abandono do sistema de canais na Ilha de Marajó é marcado sedimentologicamente por uma granodecrescência ascendente nos paleocanais (Figura 14). O processo de abandono foi atribuído a eventos tectônicos na região, que capturaram o sistema de drenagem (Figura 13), com a formação da Baía de Marajó pela reativação de falhas transcorrentes destrais de direção NE-SW e a formação do Rio Pará através da reativação de falhas transcorrentes de direção E-W, durante o Holoceno Médio e

Tardio (ROSSETTI & VALERIANO, 2007; ROSSETTI et al., 2007), tendo como consequência a formação da Ilha de Marajó (separação do continente).

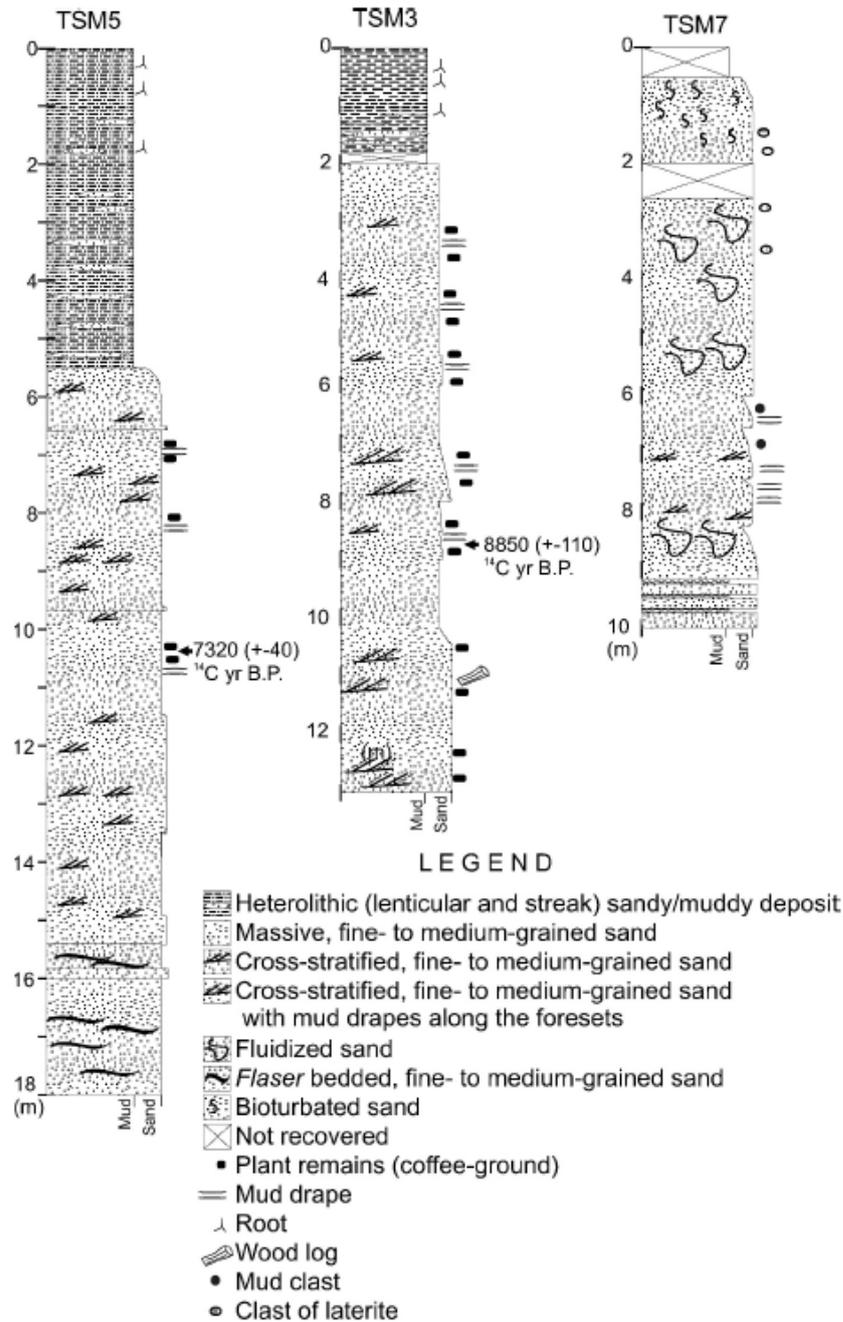


**Figura 13** – Evolução geológica da Ilha de Marajó durante o Plio-Pleistoceno até o presente (Rossetti & Valeriano, 2007), mostrando a captura do rio Tocantins por falhas na direção NE, a instalação do Rio Pará e a formação da Ilha de Marajó.

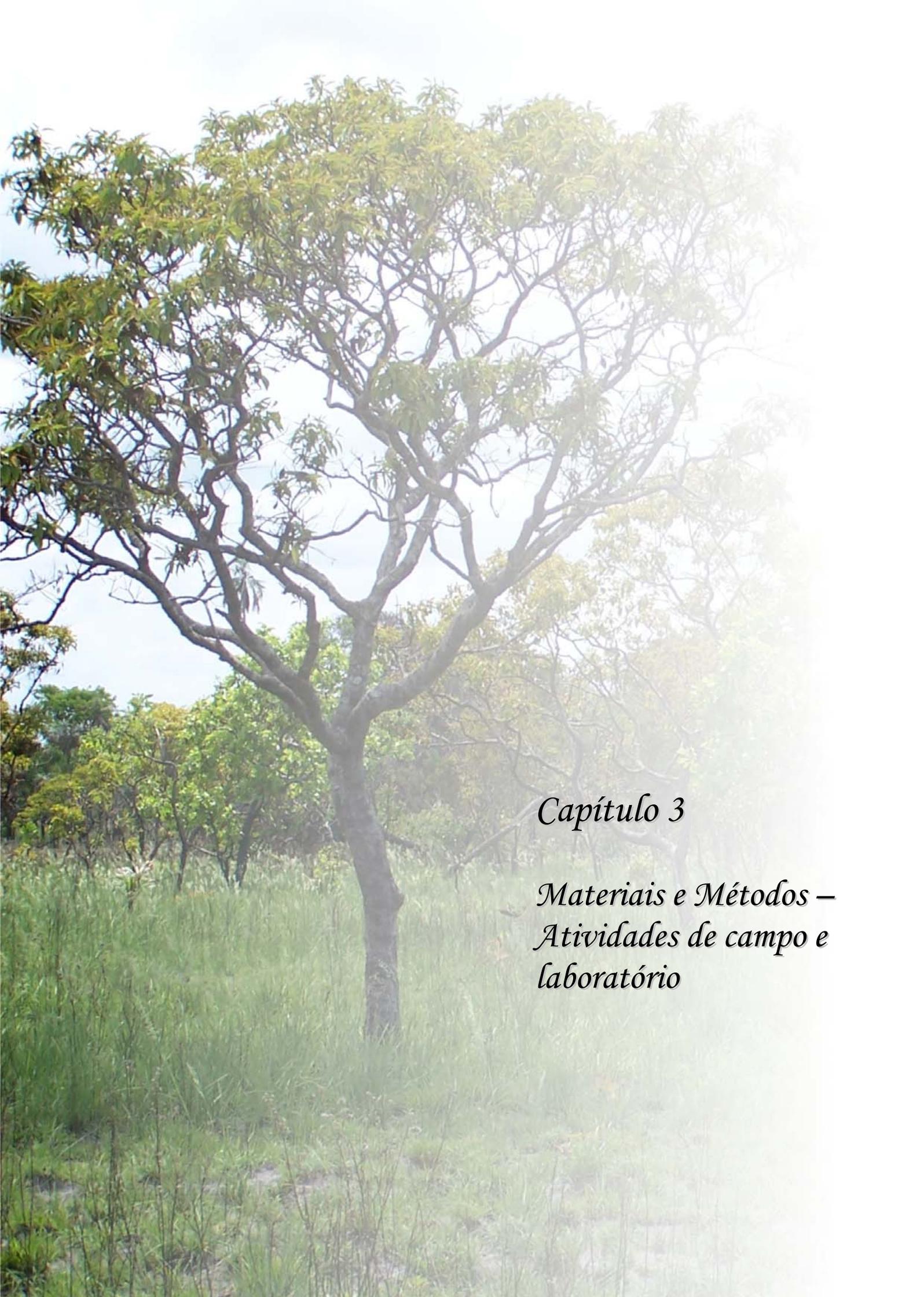
Portanto a região nordeste da Ilha de Marajó em estudo é caracterizada por amplos depósitos sedimentares holocênicos derivados de ambientes fluviais/estuarinos, constituídos em sua maioria por material lamoso (argila e silte) de coloração cinza médio da planície de inundação. Nesta área também foram reconhecidos (através de imagens de satélite e atividade de campo) inúmeros paleocanais que se destacam dos materiais argilosos tanto no aspecto sedimentar (os paleocanais são preenchidos com material areno siltoso a arenoso) como no aspecto da vegetação de cobertura e topografia (são sensivelmente mais elevados, apresentando vegetação arbórea que formam extensas linhas ou ilhas de mata em meio aos campos naturais).

Cabe ressaltar a importância da evolução geológica da área de estudo para a interpretação dos resultados isotópicos do carbono da matéria orgânica. A separação recente da Ilha de Marajó, com a formação do Rio Pará e a migração do paleo Rio Tocantins de N para NE (posição atual) provavelmente rompeu o fluxo e, portanto o aporte sedimentar dos canais que atravessam a região da Ilha, afetando deste modo o sistema hídrico deste ambiente. O ambiente tornou-se gradativamente

mais seco e conseqüentemente a antiga planície de inundação, representada pelos sedimentos argilosos e siltosos, tornou-se um ambiente estressante para a vegetação, devido a formação de grandes gretas de contração (rompimento de raízes).



**Figura 14** - Perfis estratigráficos representando os depósitos de paleocanais no setor leste da Ilha de Marajó, onde é possível verificar granodrecrescência ascendente (material arenoso para lamoso), formado por decréscimo do fluxo de energia, típico de depósito de preenchimento de canal (Rossetti et al., 2007)



## *Capítulo 3*

*Materiais e Métodos –  
Atividades de campo e  
laboratório*

### 3.1. ATIVIDADE DE CAMPO

A porção oriental da Ilha de Marajó é caracterizada geologicamente por amplos depósitos sedimentares finos, constituídos essencialmente por argilas expansíveis, de coloração acinzentada a marrom. Neste tipo de material encontram-se a maioria dos campos naturais da ilha, comumente utilizados como pastagem para o gado bubalino. Dois tipos de campos ocorrem: campo limpo, ou seja, campos constituídos somente por gramíneas e outras plantas herbáceas (onde se destacam duas espécies: *Ipomoea asarifolia* (popularmente chamada de algodoeiro) e *Ipomoea carnea* (popularmente chamada de batatarana) e os campos “sujos” (onde se encontram algumas espécies arbóreas e/ou arbustos em meio a um estrato essencialmente graminoso).

Inúmeros paleocanais, de dimensões quilométricas, são facilmente identificados tanto em imagens de satélite como na atividade de campo nesta região. Apresentam preenchimento sedimentar constituído essencialmente por areia fina e silte e possuem uma vegetação de cobertura arbórea, se destacando da vegetação de campos ao seu redor.

Na borda oriental da ilha aparece uma faixa constituída por material caulínítico, mosqueado, com nível concrecionário laterítico atingido em 1,40 m (ponto C-CAM). Frequentemente ocorre, sobre estes materiais, vegetação típica de cerrado, indicando um solo enriquecido em alumínio (baixo teor de bases).

Deste modo a porção oriental da Ilha de Marajó pode ser dividida em três domínios sedimentares diferentes, com a vegetação de cobertura variando de acordo com estes domínios.

A primeira atividade de campo foi concentrada nesta região da Ilha de Marajó (PA), onde foram coletadas 146 amostras em seis pontos de amostragem (incluindo paleocanais, planície de inundação e solos desenvolvidos em sedimentos Pós Barreiras) sendo cinco realizados através de tradagem e um através de poço (Tabela 1). As amostras foram coletadas em intervalos de 10 cm em cada perfil de amostragem, atingindo profundidades que variaram de 1,40 m até 3,30 m. Estas profundidades coincidiram com o nível d'água ou com o nível laterítico (no ponto C-CAM) impedindo a amostragem à maiores profundidades. A seleção dos pontos de coleta foi realizada de modo a

abranger as diferentes fitofisiografias (mata, campos e cerrado) que ocorrem nesta região da Ilha de Marajó.

Amostras de plantas mais representativas localizadas nos arredores de cada ponto de coleta das amostras de solos foram identificadas com o auxílio do técnico em botânica Carlos da Silva Rosário (Museu Paraense Emílio Goeldi) e coletadas. Em um ponto (C-CER) somente amostras de plantas foram coletadas, pois as amostras de solos apresentavam indícios de contaminação por fezes e pisoteio de animais. Nesta primeira atividade de campo foram realizados oito pontos de coleta, como pode ser observado na Tabela 1.

**Tabela 1** - localização dos pontos, tipo de amostragem para a coleta e profundidade atingida.

Ponto	Vegetação	Latitude	Longitude	Tipo de amostragem	Profundidade (m)
MOC-F	mata	0° 38,824' S	49° 27,926' W	poço	3,10
CER*	campo arborizado	0° 38,008' S	49° 27,090' W	_____	_____
MOC-TC	campo	0° 35,875' S	49° 26,692' W	tradagem	2,10
MOC-TF	mata	0° 35,868' S	49° 26,692' W	tradagem	3,30
C-CAT	campo arborizado	0° 36,773' S	49° 20,699 W	tradagem	2,10
C-CRUZ	campo	0° 39,399' S	49° 11,101' W	tradagem	3,10
C-CAM	cerrado	0° 52,137' S	48° 37,754' W	tradagem	1,40

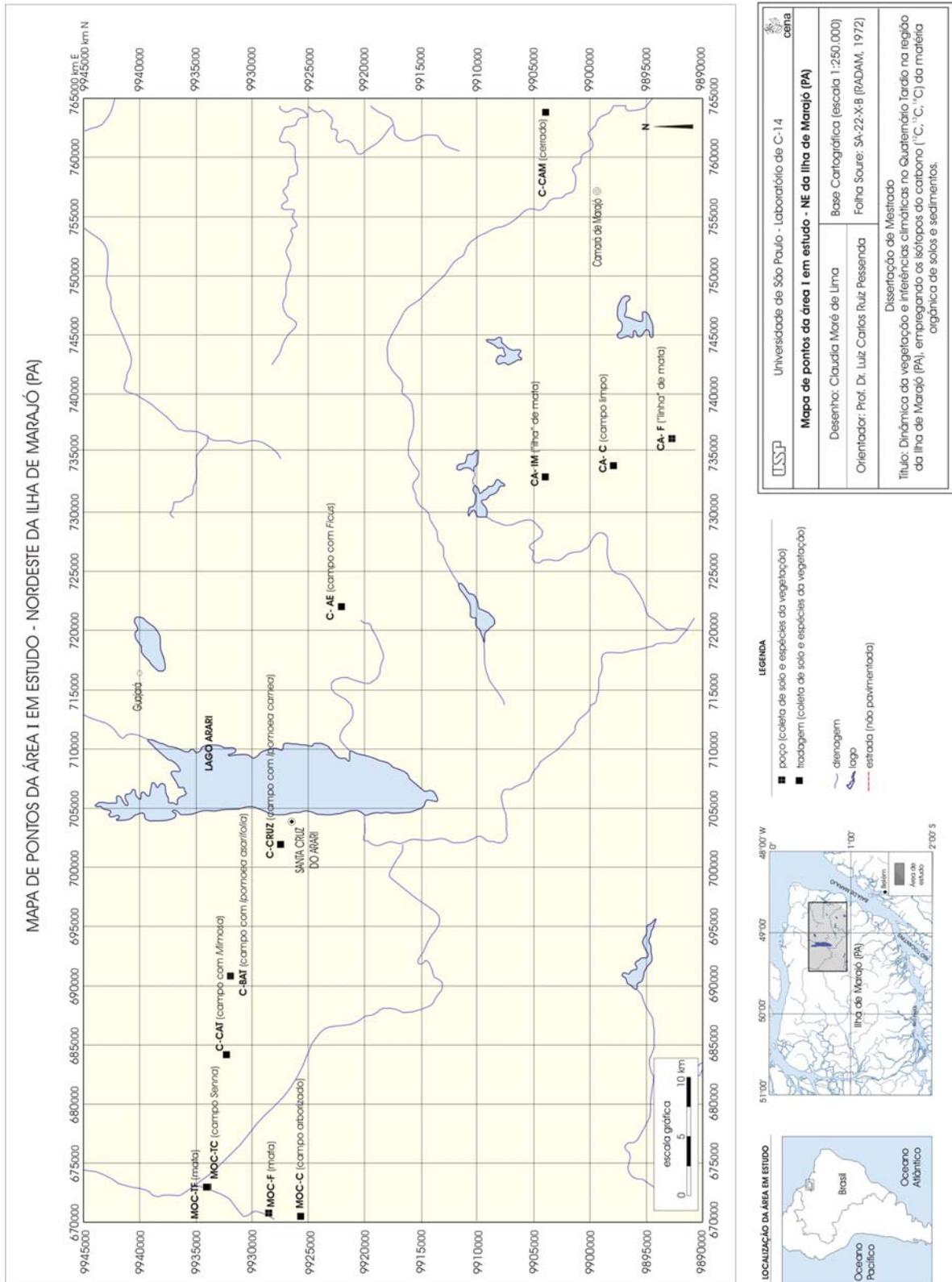
\*coleta somente de amostras da vegetação.

A segunda atividade de campo foi realizada na porção nordeste da Ilha de Marajó (com o intuito de um melhor detalhamento do transecto realizado durante a primeira etapa - Figura 15) e na região sudoeste da mesma (arredores da cidade de Breves - Figura 16). Foram totalizadas 290 amostras de solos e sedimentos em dez pontos de amostragem (Tabela 2), sendo oito através de tradagens e dois através de poço de coleta. Amostras das plantas dominantes em cada ponto foram coletadas, para posterior caracterização isotópica. Amostras coletadas através de tradagem, em profundidades de 10 cm em 10 cm, foram posteriormente enviadas para análise isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e do carbono orgânico total (COT), efetuadas em espectrômetro de massa SerCon ANCA GLS, no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA. Os poços foram realizados para coletas de amostras de aproximadamente 5 kg, de 10 cm em 10 cm, as quais, além de encaminhadas para análise do  $\delta^{13}\text{C}$  e COT, selecionadas para datação pelo método  $^{14}\text{C}$  (que exige uma massa maior que a coleta de trado é capaz de oferecer). A profundidade atingida nos perfis de amostragem variou entre 2,10 m e 4,0 m, sendo estes valores coincidentes com o nível d'água ou com o nível laterítico (ponto CA-C). As amostras do ponto TU-F2 foram coletadas somente até 1,0 m.

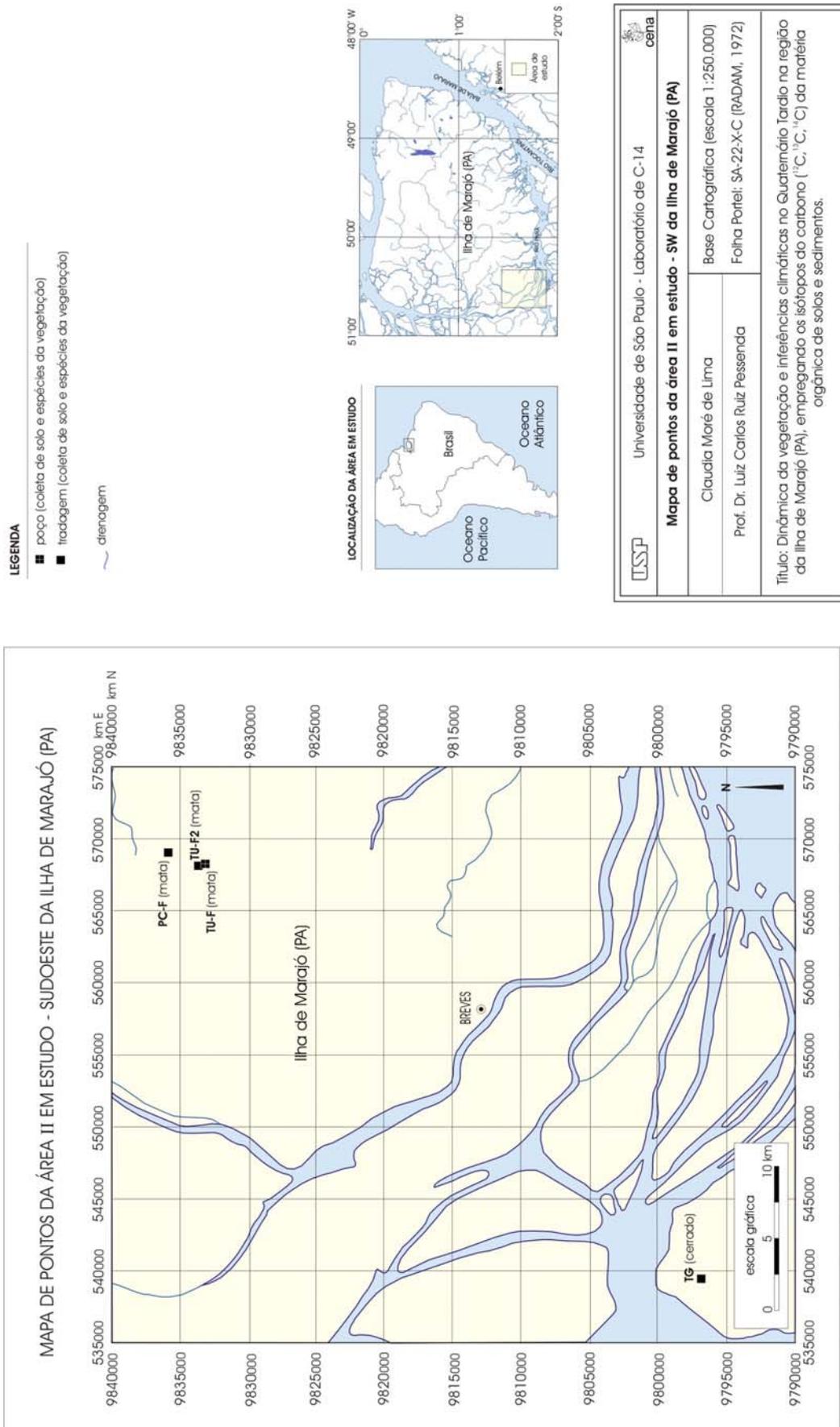
**Tabela 2** - localização dos pontos da segunda etapa de campo, tipo de amostragem para a coleta e profundidade atingida.

Ponto	Vegetação	Latitude	Longitude	Tipo de amostragem	Profundidade (m)
MOC-C	campo	0° 39,972' S	49° 28,065' W	tradagem	3,70
C-BAT	campo	0° 36,830' S	49° 16,965' W	tradagem	4,00
C-AE	campo	0° 42,229' S	49° 00,145' W	tradagem	2,60
CA-IM	mata	0° 51,994' S	48° 54,469' W	tradagem	3,60
CA-C	campo	0° 54,861' S	48° 54,425' W	tradagem	2,10
CA-F	mata	0° 58,227' S	48° 52,850' W	poço	3,30
TU-F	mata	1° 30,349' S	50° 23,006' W	poço	2,30
TU-F2	mata	1° 30,263' S	50° 23,022' W	tradagem	1,00
PC-F	mata	1° 29,028' S	50° 22,902' W	tradagem	3,90
TG	cerrado	1° 50,145' S	50° 38,684' W	tradagem	2,70

**Figura 15** – Mapa da região nordeste da Ilha de Marajó (PA) incluindo os pontos de amostragem da primeira e segunda etapa de campo.



**Figura 16** - Localização dos pontos da região sudoeste da Ilha de Marajó (arredores da cidade de Breves), realizados na segunda etapa de campo.



### 3.1.1. Região nordeste da Ilha de Marajó (área I)

#### 3.1.1.1. Campo arborizado (ponto MOC-C)

Localizado cerca de 35 km a oeste do Lago Arari, próximo ao vilarejo de Moções, este campo natural apresenta aproximadamente 50 km<sup>2</sup> de área, com contato abrupto com a floresta ao seu redor. As estruturas do solo argiloso superficial, dominado por gretas de contração com aberturas centimétricas e atingindo profundidade de até 30 cm, indicam que provavelmente é representado por argilomineral expansível e que esta área encontra-se submersa por algum intervalo de tempo durante o ano, na época de chuvas na região. A vegetação arbórea neste campo aparece como pequenas “ilhas”, espaçadas entre si por dezenas de metros (Figura 18).

A amostragem foi realizada em intervalos de 10 em 10 cm, através de tradagem, atingindo 370 cm de profundidade.

Amostras de plantas dominantes da vegetação atual, ao redor do furo de amostragem (tradagem), foram coletadas e identificadas para posterior caracterização isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ).

#### 3.1.1.2. Mata (ponto MOC-F)

Neste ponto, localizado nas proximidades do Rio Moções (a cerca de 32 km a oeste da cidade de Santa Cruz do Arari), em sedimentos de um paleocanal, houve a abertura de um poço para a amostragem, com dimensões de 2,0 m x 2,0 m x 3,10 m. Foram coletadas amostras com aproximadamente 5 kg cada, em intervalos de 10 cm, no sentido das camadas inferiores para as superiores.

A vegetação de cobertura é representada por floresta (a mais densa amostrada na atividade de campo na região nordeste da Ilha – Figura 17), onde foram coletados e identificados exemplares, sendo os mais próximos do poço de amostragem enviados para análise do  $\delta^{13}\text{C}$  no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA, empregando um espectrômetro de massa SerCon ANCA GLS.

### 3.1.1.3. Savana arbórea (ponto C-CER)

Localizado cerca de 2 km a nordeste do ponto MOC-F, nesta área foi somente realizada a identificação e coleta de 11 exemplares da vegetação (caracterizada como savana arbórea – Figura 17).

Na superfície deste terreno existem evidências de contaminação, pela grande quantidade de pisoteio e fezes de animais, sendo por este motivo descartada a possibilidade de coleta de material neste local.

### 3.1.1.4. Campo com *Senna reticulata* (ponto MOC-TC)

Localizado a cerca de 6 km a nordeste do primeiro ponto (MOC-C), este local apresenta uma zona de contato da mata com o campo (Figura 17). O material no campo foi amostrado através de tradagem, em intervalos de 10 cm, atingindo uma profundidade de 210 cm (coincidente com o nível d'água).

A vegetação, caracterizada como campo, é constituída predominantemente por três diferentes tipos de gramíneas com a presença constante de arbustos de *Senna reticulata*. Cabe ressaltar que o contato entre a gramínea *Panicum laxum* do campo com a gramínea *Panicum millegrana* na transição com a mata é abrupto.

### 3.1.1.5. Mata (ponto MOC-TF)

Este ponto, no domínio de um paleocanal, localiza-se a somente 17 m a norte do ponto MOC-TC, caracterizado por uma mata (Figura 17), sendo que exemplares da vegetação foram identificados e coletados. A amostragem foi realizada através de tradagem, em intervalos de 10 cm, e atingiu a profundidade de 330 cm (coincidente com o nível d'água).

### 3.1.1.6. Campo com *Mimosa dormiens* (ponto C-CAT)

Este ponto localiza-se a cerca de 20 km a noroeste da cidade de Santa Cruz do Arari. O campo apresenta apenas uma espécie de arbusto (*Mimosa dormiens*) a qual é bastante abundante em meio a presença de várias outras espécies de ervas (Figura 17), na qual se destaca a *Ipomoea asarifolia*. Neste campo foram coletados e identificados exemplares da vegetação.

As amostras foram coletadas através de tradagem, em intervalos de 10 cm, até a profundidade de 210 cm (coincidente com o nível d'água). A superfície do terreno apresenta gretas de contração.

#### **3.1.1.7. Campo com *Ipomoea asarifolia* (ponto C-BAT)**

A coleta de amostras na primeira etapa de campo não pode ser realizada neste ponto (localizado a cerca de 18 km a noroeste da cidade de Santa Cruz do Arari), pela contaminação devido a grande quantidade de pisoteio e fezes de animais. Na segunda etapa, neste mesmo campo foi observado um local que, aparentemente, não apresentava indícios de contaminação, sendo realizada a coleta de amostras por tradagem e coleta e identificação de amostras da vegetação.

#### **3.1.1.8. Campo com *Ipomoea carnea* (ponto C-CRUZ)**

Situado a cerca de 2 km da cidade de Santa Cruz do Arari, esse tipo de campo tem o predomínio do arbusto *Ipomoea carnea* (Figura 17). Foram coletadas e identificadas amostras mais representativas da vegetação local.

O tipo de amostragem para a coleta foi através de tradagem, em intervalos de 10 cm até a profundidade de 310 cm.

### 3.1.1.9. Campo com *Ficus amazonica* (ponto C-AE)

Situado a 10 km a leste do Lago Arari, este campo é composto essencialmente por gramíneas, com raras ocorrências das espécies arbóreas *Ficus amazonica* (Figura 18), *Cordia tetrandra* e o arbusto *Senna reticulata*. As espécies dominantes neste local foram coletadas e identificadas. A tradagem atingiu uma profundidade de 260 cm, coincidente com o nível d'água.

### 3.1.1.10. Mata (ponto CA-IM)

Este ponto está inserido em um fragmento de paleocanal. A vegetação de cobertura é uma mata densa apresentando contato abrupto com os campos ao seu redor (Figura 18). Em imagens de satélites é possível verificar que tais fragmentos faziam parte de um único paleocanal. A descontinuidade, ou seja, o rompimento deste paleocanal em fragmentos menores, pode ser possivelmente atribuída a falhamentos (eventos neotectônicos) na região.

### 3.1.1.11. Campo limpo (ponto CA-C)

Distante 10 km a noroeste da cidade de Cachoeira do Arari, este campo é composto somente por gramíneas (campo limpo – Figura 18). A amostragem por trado atingiu a profundidade de 2,10 m (coincidente com o nível laterítico concrecionário - topo da Fm. Barreiras).

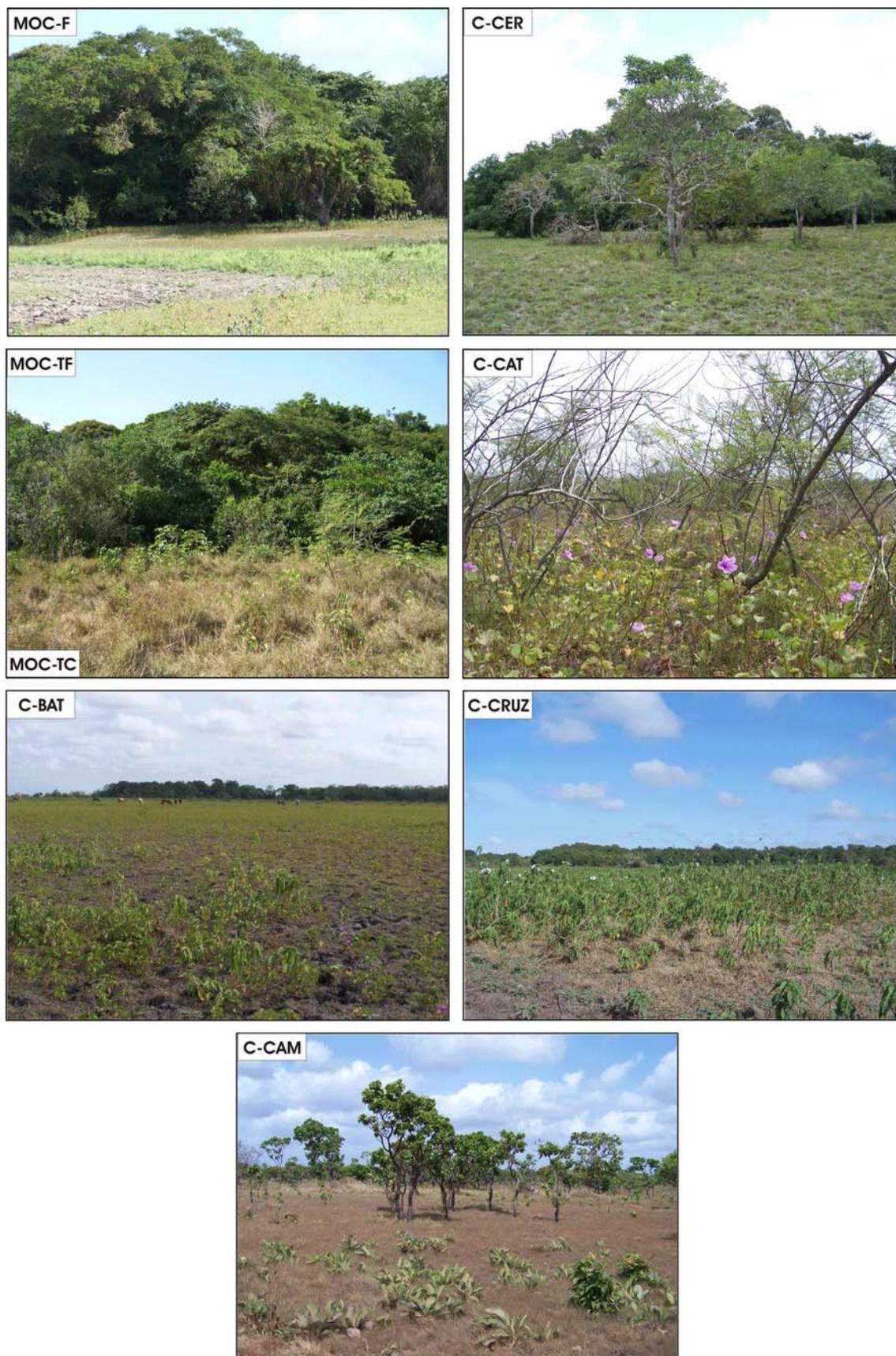
### 3.1.1.12. Mata (ponto CA-F)

Para a amostragem de neste ponto (Figura 18), também inserido nos domínios de um paleocanal, um poço de dimensões 2,5 m x 2,5 m e 3,50 m de profundidade foi aberto com auxílio de pás e enxadas. Cerca de 5 kg de material foi coletado em intervalos de 10 em 10 cm, seguindo das camadas inferiores para as superiores. As amostras de espécies botânicas nas proximidades do poço foram coletadas e identificadas.

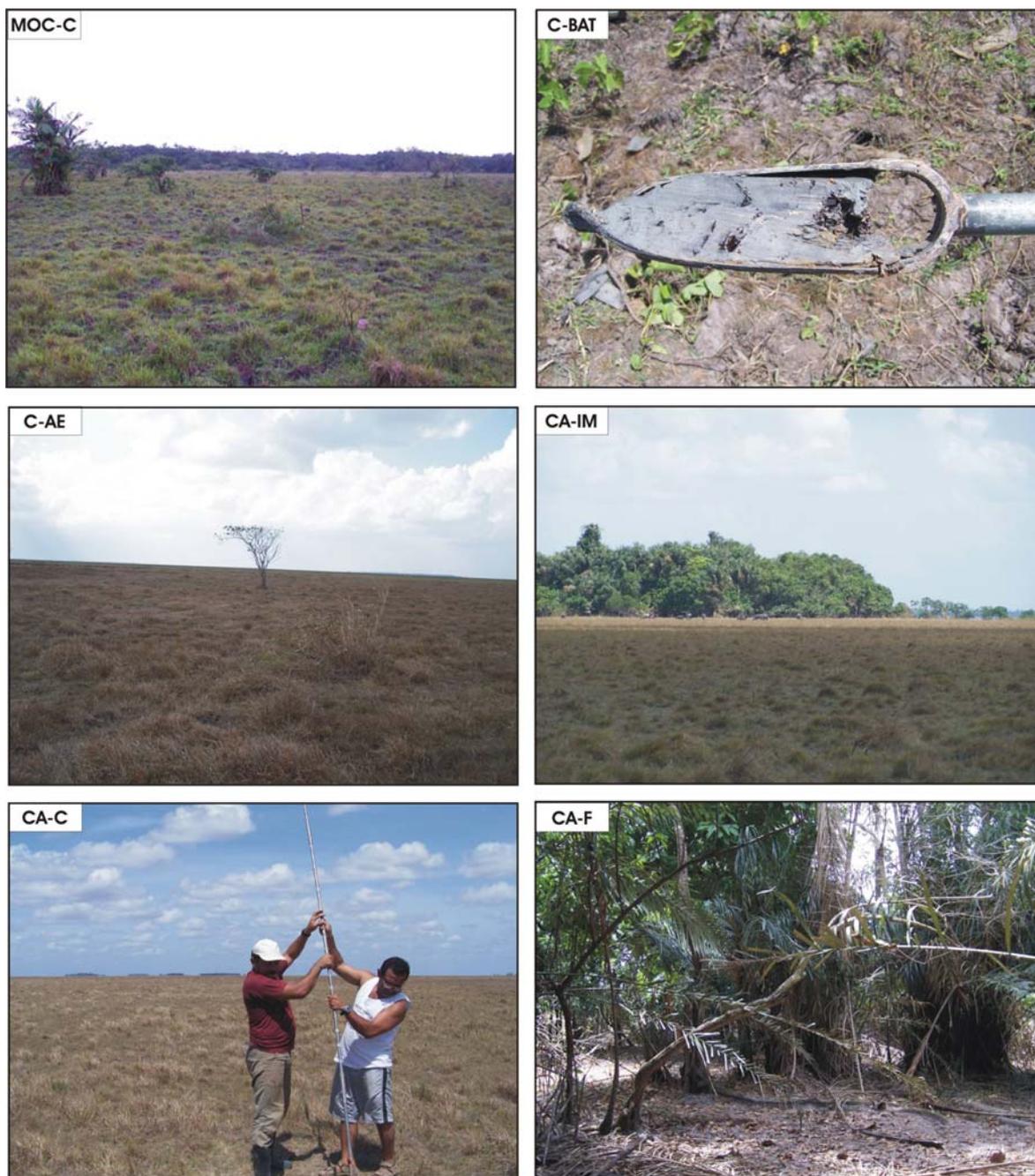
### **3.1.1.13. Cerrado (ponto C-CAM)**

Localizado a aproximadamente 65 km a sudeste da cidade de Santa Cruz do Arari, este campo é caracterizado pela presença de árvores de pequeno porte com troncos retorcidos (Figura 17). Nesta área foram coletadas amostras da vegetação.

A amostragem de solo foi realizada através de tradagem, em intervalos de 10 cm, até a profundidade de 140 cm. Essa profundidade coincidiu com o nível laterítico, impedindo o avanço da amostragem.



**Figura 17** – Visão geral da vegetação nos pontos em estudo no nordeste da Ilha de Marajó (PA). Esta parte da ilha abrange essencialmente quatro fitofisiografias: mata (MOC-F e MOC-TF), campo arborizado (C-CER e C-CAT), campo limpo (MOC-TC, C-BAT e C-CRUZ) e cerrado (C-CAM).



**Figura 18** – Visão geral da vegetação nos pontos de amostragem na região nordeste da Ilha de Marajó (PA) durante a segunda etapa de campo. A foto em C-BAT ilustra os fragmentos vegetais carbonizados em meio a sedimento essencialmente argiloso de coloração cinza da planície de inundação.

### 3.1.2. Região sudoeste da Ilha de Marajó (área II)

A região sudoeste da Ilha de Marajó (arredores da cidade de Breves) se difere da porção nordeste da ilha tanto por aspectos geológicos/geomorfológicos como vegetacionais. Nesta região ocorre o domínio de terrenos arenosos finos (denominado de sedimentos Pós-Barreiras), topograficamente mais elevados, onde uma vegetação arbórea densa ocupa praticamente toda a área, sendo rompida apenas por pequenas áreas de desmatamento. Ocorrem inúmeros paleocanais, identificados em imagens de satélite, sendo que o ponto PC-F está inserido em um paleocanal.

Próximo ao Município de Portel, no vilarejo de Terra Grande, um campo arborizado (cerrado *sensu stricto*) apresenta contato abrupto com a floresta ao seu redor. Este campo foi selecionado para a realização de uma tradagem (ponto TG), por ser praticamente o único campo natural mais próximo (aproximadamente 20 km) da cidade de Breves e, portanto, de interesse para estudos de dinâmica vegetacional nesta região.

A mata instalada sobre o paleocanal apresenta uma maior diversidade de espécies botânicas que em outras regiões situadas nas proximidades, mas fora do contexto deste paleocanal. Aparentemente o substrato tem influência direta no controle da densidade e diversidade vegetacional nesta região, entretanto não tão acentuada como no lado leste da Ilha de Marajó.

No domínio sudoeste da ilha foram realizadas três tradagens e um poço para coleta de amostras de solos, totalizando 97 amostras que representam intervalos de profundidade de 10 em 10 cm. Os locais de amostragem foram selecionados de acordo com as diferentes densidades vegetacionais.

#### 3.1.2.1. Mata (ponto TU-F)

Este ponto foi selecionado para realização de um poço de coleta com dimensões de 2,5 m x 2,5 m x 2,5 m. Aproximadamente 5 kg de material foi coletado em intervalos de 10 em 10 cm. A vegetação de cobertura é representada por uma mata (Figura 19), sendo que as espécies botânicas foram identificadas e algumas coletadas.

### **3.1.2.2. Mata (ponto TU-F2)**

Neste local (distante aproximadamente 200 m do ponto anterior) foi realizada uma tradagem até a profundidade de 100 cm, com intuito de, posteriormente, comparar os resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria orgânica com os resultados do ponto anterior. Embora este local também seja representado por uma mata (Figura 19), a mesma apresenta uma maior densidade que poderá ser refletida na razão isotópica da matéria orgânica superficial do solo.

### **3.1.2.3. Mata (ponto PC-F)**

Este ponto está inserido nos domínios de um paleocanal. A vegetação de cobertura é representada por mata (a mais densa dos três pontos de amostragem do lado oeste da Ilha de Marajó – Figura 19). A tradagem atingiu a profundidade de 390 cm, coincidente com o nível d'água.

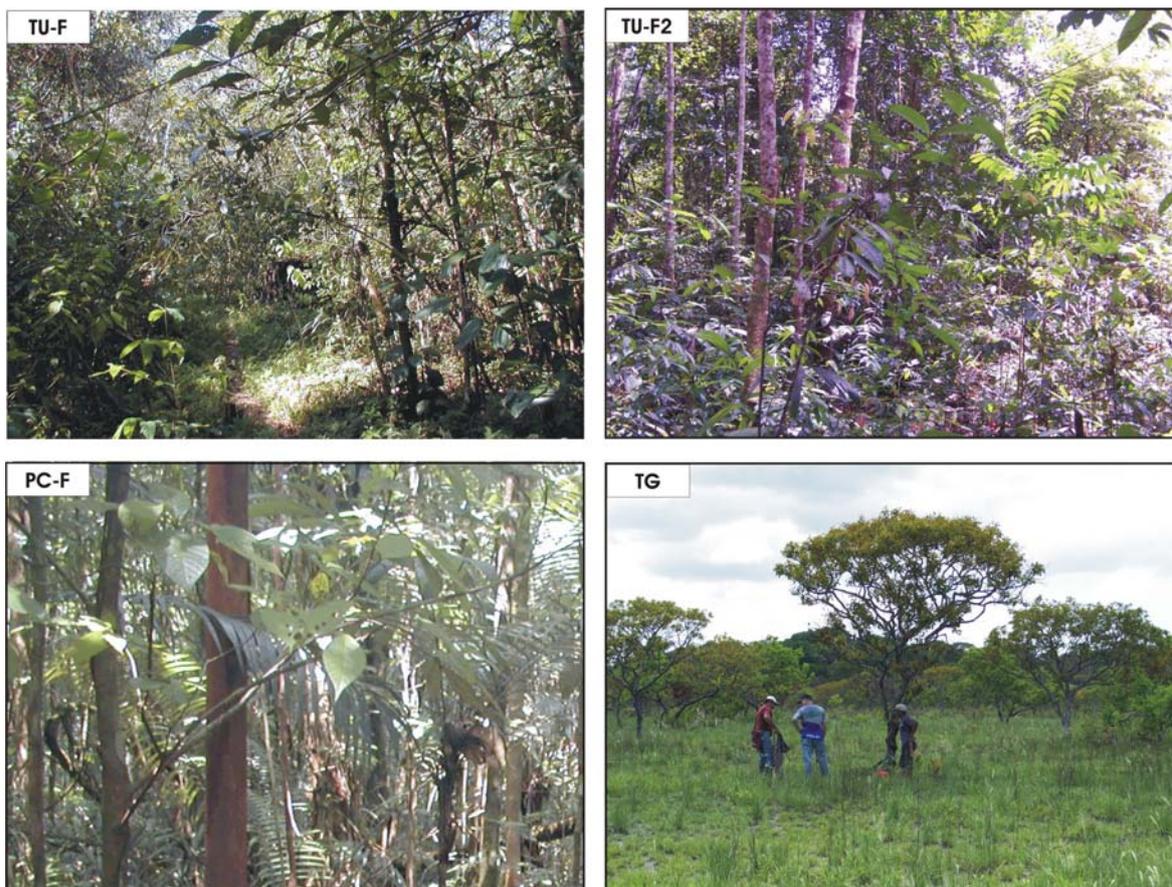
Cabe ressaltar que na superfície atual do domínio do paleocanal encontram-se inúmeros pequenos canais, podendo indicar que esta região é sensivelmente mais elevada topograficamente do que as áreas adjacentes, possibilitando a erosão e delimitação destes canais na época de chuva.

### **3.1.2.4. Cerrado (ponto TG)**

O ponto TG representa uma vegetação de cerrado, com árvores de até aproximadamente 8 metros de altura, troncos retorcidos e casca grossa, em um substrato essencialmente graminoso. Este campo está localizado nas proximidades do Município de Portel, sendo o campo natural mais próximo (aproximadamente 20 km) do município de Breves. Seu contato é abrupto com a floresta, como pode ser visualizado na Figura 19.

A tradagem atingiu uma profundidade de 270 cm (coincidente com o nível d'água).

Nos arredores do furo foram identificadas as espécies botânicas sendo que, as mais representativas, coletadas para posterior caracterização isotópica.



**Figura 19** – Pontos de amostragem da segunda etapa de campo na região sudoeste da Ilha de Marajó (PA). A vegetação de mata, dominante nesta região, é representada pelos pontos TU-F, TU-F2 e PC-F (arredores da cidade de Breves). O cerrado (ponto TG) está localizado no Município de Portel e apresenta contato abrupto com a floresta ao redor.

## 3.2. ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

### 3.2.1. Pré-tratamento das amostras de solo e sedimentos para análise do $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ e $\text{C}_{\text{total}}$ .

As amostras de solo/sedimentos a serem encaminhadas para a análise do  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  e  $\text{C}_{\text{total}}$  da matéria orgânica por espectrometria de massa devem ter granulometria menor que 0,210 mm, sendo assim, passam por um conjunto de peneiras no laboratório (Figura 20). Cada amostra corresponde a camadas de 10 cm dos perfis analisados, em um total de 16 perfis (totalizando 436 amostras).

No Laboratório os sacos plásticos contendo as amostras foram abertos e as amostras secas naturalmente. Após, a parte superior da amostra foi descartada com auxílio de uma espátula (evitando deste modo a contaminação por poeira). Aproximadamente 30 g de cada amostra foram separadas para o peneiramento.

Antes do início do peneiramento é importante homogeneizar a amostra para torná-la representativa, pois os agregados apresentam maior porcentagem de materiais finos (silte e argila) que o restante da amostra, sendo necessário sua desagregação antes do peneiramento. Para amostras mais argilosas a desagregação foi realizada com auxílio de almofariz de porcelana. O destorroamento, quando necessário, de amostras mais arenosas foi realizado em peneira de malha grossa.

Resto de raízes, sementes, insetos, enfim qualquer material recente capaz de contaminar a amostra é retirado com auxílio de uma pinça e descartado.

Cada amostra foi peneirada em malhas de 2,0 mm e 0,210 mm, no sentido das amostras da base para o topo de cada testemunho. A amostra com granulometria menor que 0,210 mm foi coletada com auxílio de uma colher e acondicionada em frasco plástico, com a identificação (Figura 20).

## PRÉ TRATAMENTO DAS AMOSTRAS DE SOLOS COLETADAS EM ATIVIDADE DE CAMPO PARA ANÁLISE DO $\delta^{13}\text{C}$

### PRIMEIRA ETAPA

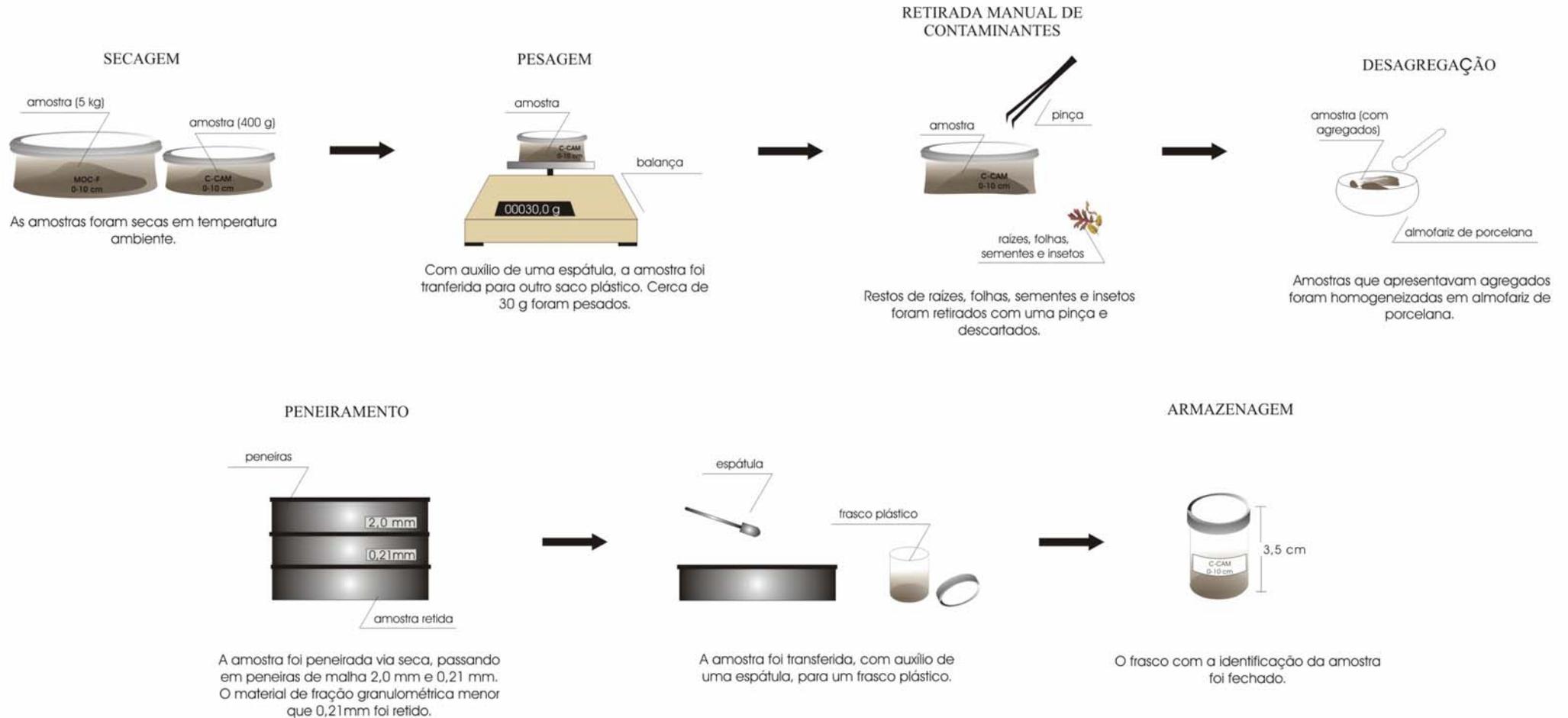


Figura 20 – Primeira etapa do pré-tratamento das amostras de solos para análise do  $\delta^{13}\text{C}$ .

Terminado o processo de peneiramento, as amostras na fração menor que 0,210 mm foram acondicionadas em cápsulas de estanho (12 mm x 5mm) e pesadas em balança da marca Sartorius BP 211 D, de precisão 0,00001 – Figura 22. Para materiais arenosos foram pesados cerca de 40 mg para as camadas com até 1 m de profundidade e cerca 70 mg para camadas inferiores a 1m. Já nas camadas com até 1m de profundidade constituída por materiais argilosos, foram pesados entre 20 e 30 mg e abaixo de 1m foram pesados entre 50 a 70 mg. Esse material foi enviado para o Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP para o pré-tratamento final e análise do  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\text{C}_{\text{total}}$ , por espectrometria de massa (Figura 23).

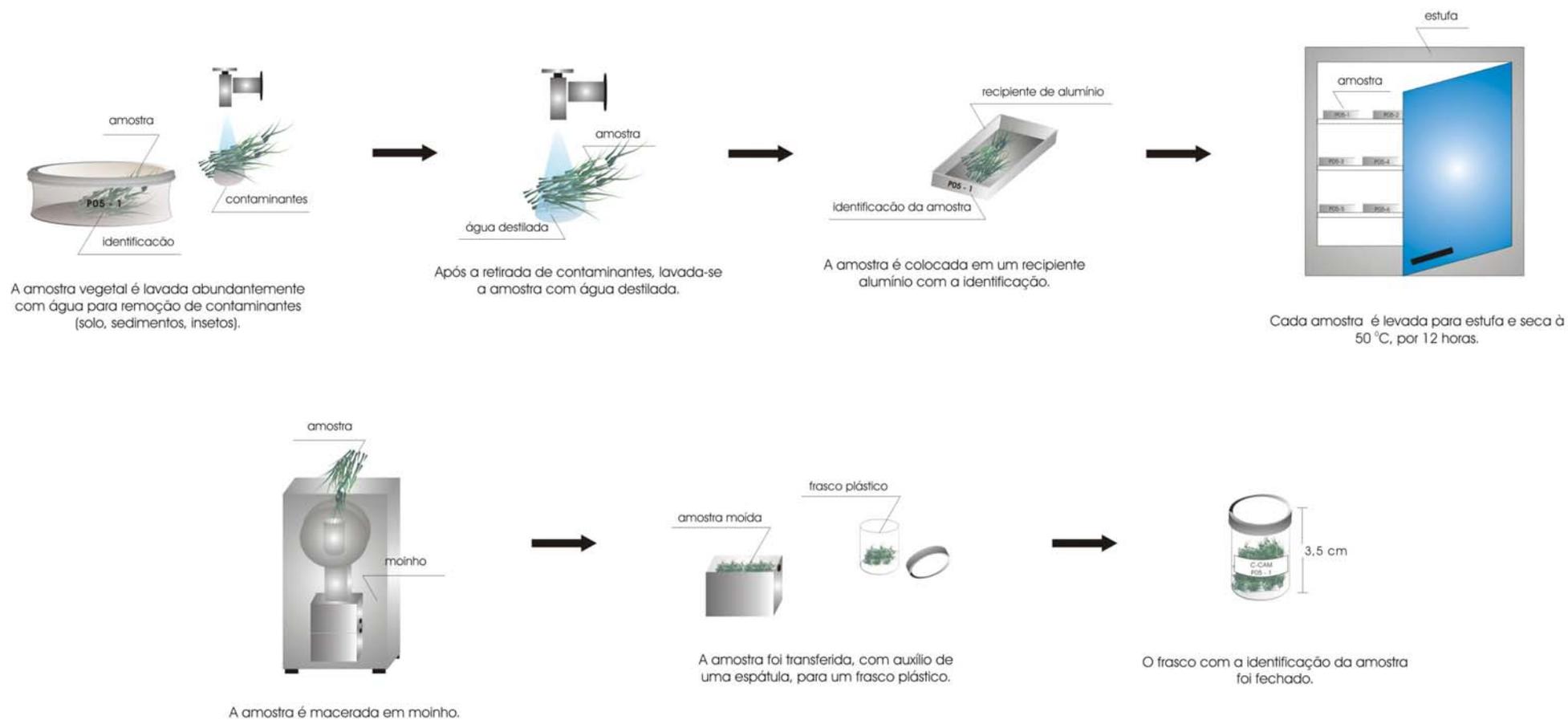
### **3.2.2. Pré-tratamento das amostras de plantas para análise do $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ .**

No trabalho de campo, amostras de plantas (representativas de cada local onde foram realizados os furos de trado e o poço) foram coletadas, acondicionadas em sacos plásticos e identificadas. Em laboratório essas amostras foram secas naturalmente (temperatura ambiente), sendo que posteriormente cada amostra foi lavada separadamente com água destilada, para remoção de contaminantes (poeira, solo, etc), colocadas separadamente em recipientes de alumínio com a identificação e secas em estufa a 55 °C, por 24h. A seguir, moídas em moinho e acondicionadas em frascos plásticos com a identificação (Figura 21).

Após o tratamento as amostras foram acondicionadas em cápsulas de estanho (8 mm x 5mm) e pesadas em balança da marca Sartorius BP 211D, de precisão 0,00001 e, seguindo o mesmo método que os solos/sedimentos, porém a quantidade necessária para a análise do  $\delta^{13}\text{C}$  das plantas foi de apenas 1 mg (Figura 22). Esse material foi encaminhado para o Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP para o pré-tratamento final e análise isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) por espectrometria de massa (Figura 23).

## PRÉ TRATAMENTO DAS AMOSTRAS DE PLANTAS COLETADAS EM ATIVIDADE DE CAMPO PARA ANÁLISE DO $\delta^{13}\text{C}$

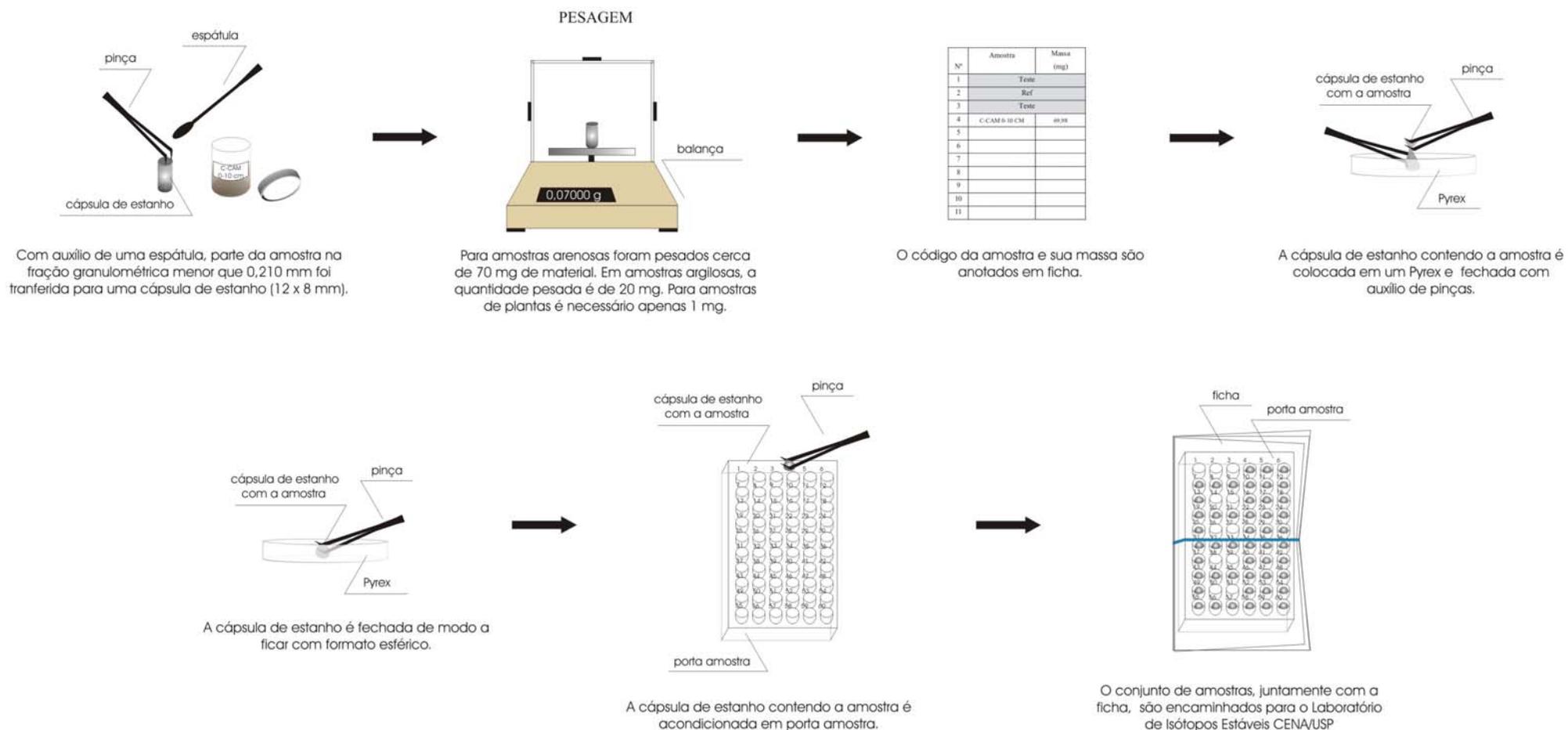
### PRIMEIRA ETAPA



**Figura 21** – Primeira etapa do pré tratamento das amostras de plantas para análise do  $\delta^{13}\text{C}$ .

## PRÉ TRATAMENTO DAS AMOSTRAS COLETADAS EM ATIVIDADE DE CAMPO PARA ANÁLISE DO $\delta^{13}\text{C}$

### SEGUNDA ETAPA



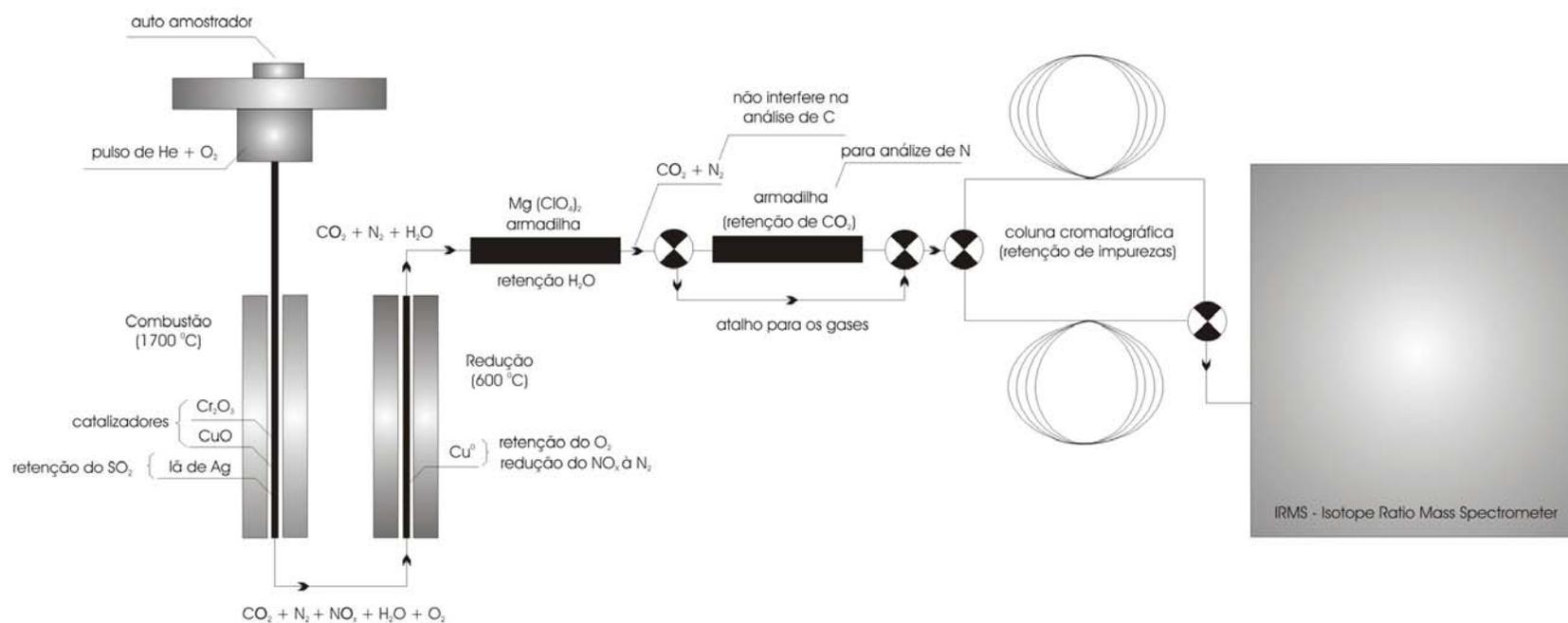
**Figura 22** – Segunda etapa do pré-tratamento das amostras de solos e plantas para análise do  $\delta^{13}\text{C}$ .

### **3.2.3. Pré-tratamento das amostras de sedimentos para análises do $\delta^{15}\text{N}$ e $\text{N}_{\text{total}}$ .**

As amostras de sedimentos de um paleocanal (MOC-F) a serem encaminhadas para as análises do  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\text{N}_{\text{total}}$  seguiram o mesmo método de pré-tratamento relatado para a análise de carbono, porém a quantidade de material encaminhado para o Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP foi de 70 mg.

## PRÉ TRATAMENTO DAS AMOSTRAS COLETADAS EM ATIVIDADE DE CAMPO PARA ANÁLISE DO $\delta^{13}\text{C}$

### TERCEIRA ETAPA - MÉTODO VIA SECA (COMBUSTÃO)



**Figura 23** – Terceira etapa do pré-tratamento das amostras de solos e plantas para análise do  $\delta^{13}\text{C}$ .

### **3.2.4. Pré-tratamento das amostras coletadas nos poços para a datação $^{14}\text{C}$ .**

Foram selecionadas as amostras das camadas 90-100 cm, 190-200 cm e 290-300 cm do ponto MOC-F; 90-100 cm 150-160 cm e 220-230 cm do ponto TU-F e 90-100 cm, 190-200 cm e 310-320 cm do ponto CA-F, totalizando nove amostras. A seguir descreve-se o preparo físico e químico realizados para a obtenção da humina e datação  $^{14}\text{C}$  no Canadá e Alemanha por Accelerator Mass Spectrometry (AMS).

Aproximadamente 500 g de material na granulometria menor que 0,210 mm (peneiramento - Figura 24) passam por tratamento ácido-alcalino-ácido (PESSENDA et al. 1996) - Figura 25, para a extração de resíduos orgânicos, ácidos fúlvico e húmico,  $\text{CO}_2$  atmosférico e concentração da fração humina (essa fração é a mais antiga e representativa da idade da matéria orgânica no solo, a qual será usada como material para a datação).

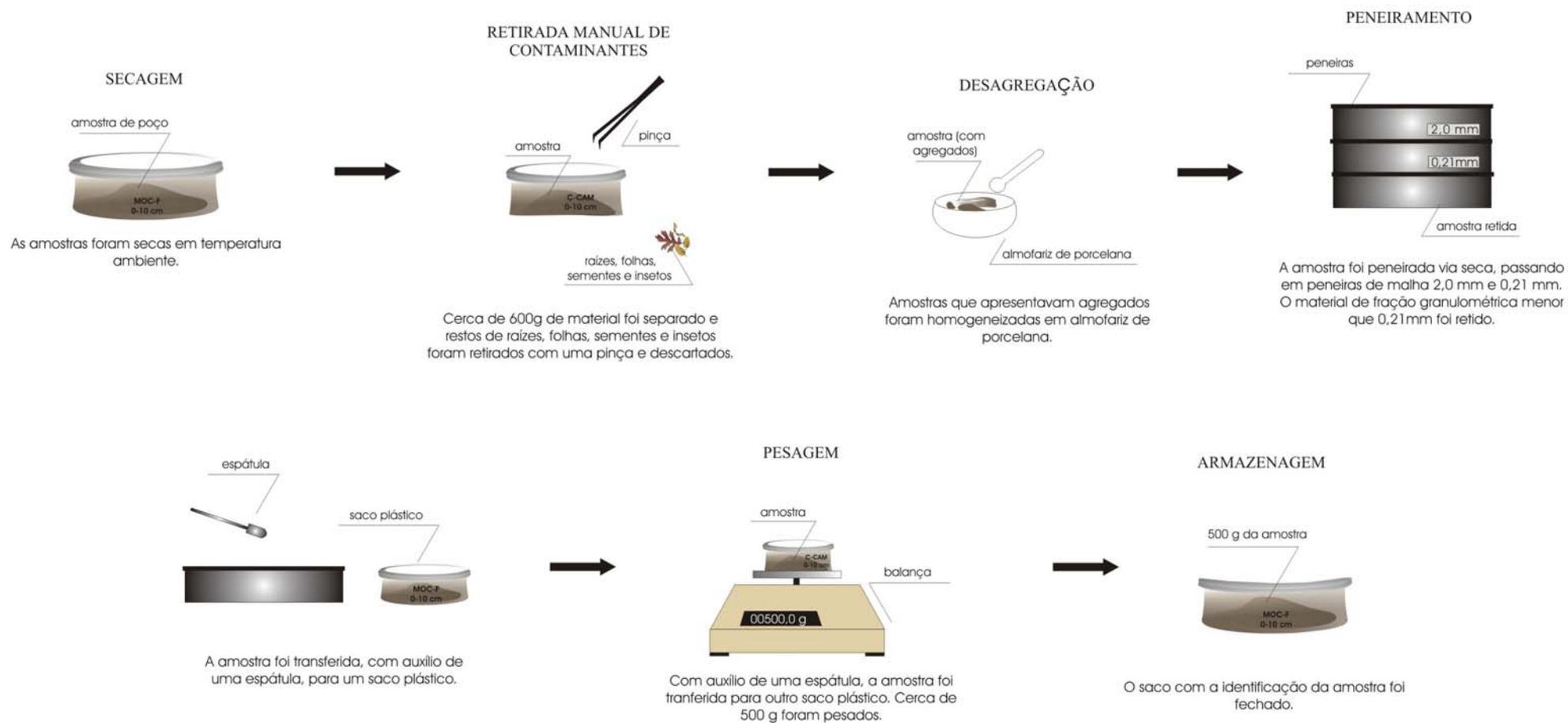
Após lavagem final com água destilada até atingir pH 6-7, o resíduo foi seco em bandejas de alumínio a  $60^\circ\text{C}$ , desagregado em almofariz de porcelana e acondicionado em sacos plásticos para posterior combustão da amostra ( $\text{CO}_2$ ). Os resíduos ácidos/básicos são neutralizados e descartados.

A seguir, a amostra de solo com a fração humina concentrada será introduzida em um sistema fechado sob vácuo. A amostra será queimada a uma temperatura de  $700^\circ\text{C}$  para produção do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ).

Devido a baixa concentração de carbono nas amostras da fração humina, a quantidade de benzeno obtida muitas vezes inferior a 1 ml, requer significativa diluição com benzeno espectrográfico, afetando a precisão e exatidão do método. Para se evitar tais problemas, alíquotas de  $\text{CO}_2$  da combustão das amostras da Ilha de Marajó (as quais apresentaram baixos teores de carbono) foram coletadas em recipientes especiais de vidro e enviadas ao Laboratório Isotrace em Toronto (Canadá) e AMS-Labor Erlangen (Alemanha) para análises de  $^{14}\text{C}$  por AMS (Accelerator Mass Spectrometry).

## PRÉ TRATAMENTO DAS AMOSTRAS DE SOLOS COLETADAS EM ATIVIDADE DE CAMPO PARA DATAÇÃO PELO MÉTODO C-14.

### PRIMEIRA ETAPA



**Figura 24** – Pré-tratamento físico (primeira etapa) das amostras de solos para datação pelo método  $^{14}\text{C}$ .

## PRÉ TRATAMENTO QUÍMICO DAS AMOSTRAS DE SOLOS COLETADAS EM ATIVIDADE DE CAMPO PARA DATAÇÃO PELO MÉTODO C-14

### SEGUNDA ETAPA TRATAMENTO ÁCIDO - ALCALINO - ÁCIDO

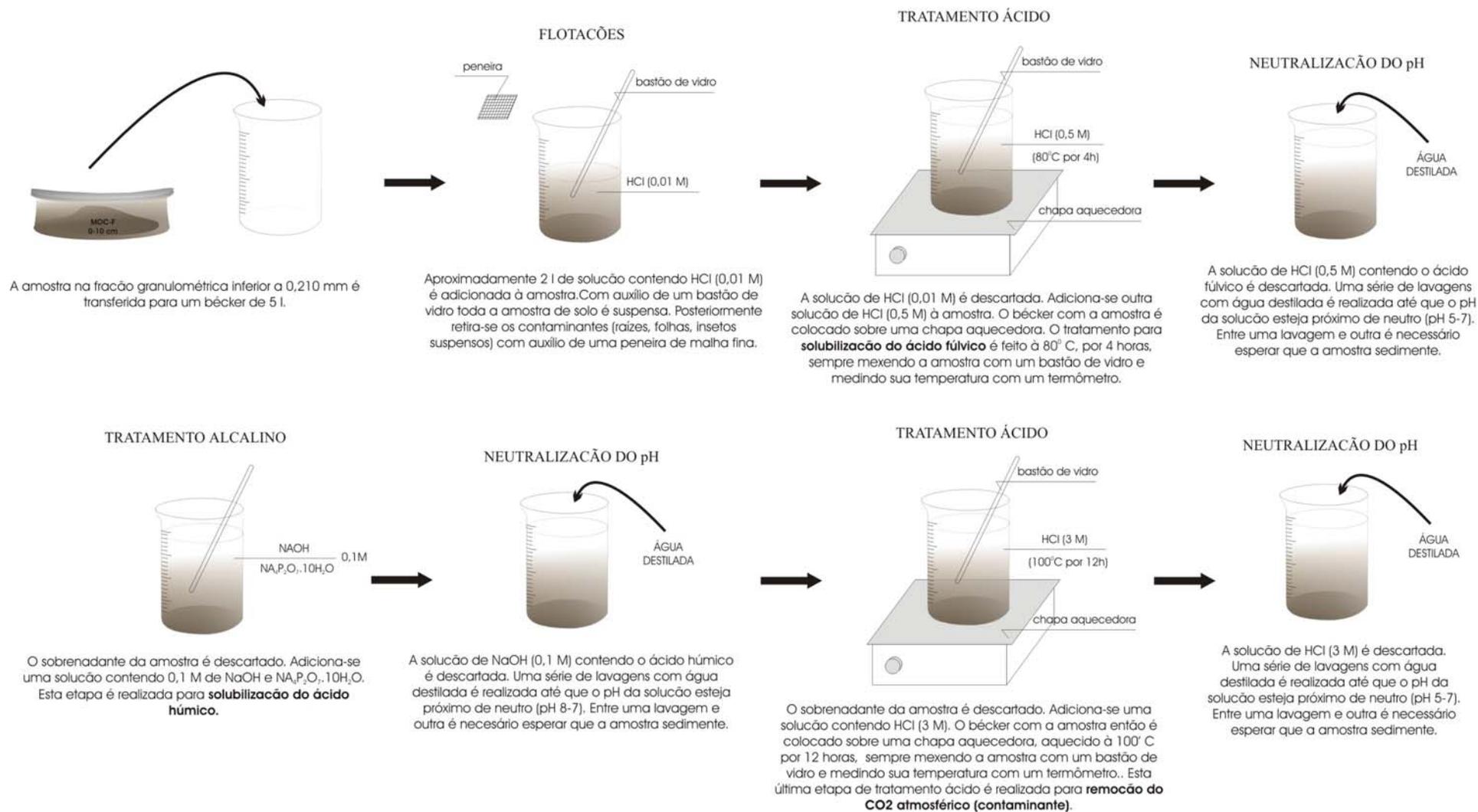


Figura 25 – Pré-tratamento químico (ácido-alkalino-ácido) de amostras de solos para datação pelo método <sup>14</sup>C.

### **3.2.5. Pré-tratamento das amostras de fragmentos vegetais para a datação $^{14}\text{C}$ .**

Os fragmentos vegetais milimétricos foram concentrados através do peneiramento dos intervalos 240-250 cm e 300-310 cm (do poço MOC-F) e 170-180 cm, 240-250 cm e 370-380 cm (do ponto C-BAT) em malha 0,149 mm. Fragmentos de carvão de tamanhos centimétricos foram coletados no intervalo de 60-70 cm do ponto TU-F. O tratamento químico ácido foi realizado com adição de 0,5 litro de solução HCl (na concentração de 2%) em bécker contendo aproximadamente 20 g da amostra de fragmentos vegetais. A solução e as amostras foram aquecidas a uma temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$ , por quatro horas. Após o resfriamento, a solução ácida foi descartada por sifonação e as amostras foram lavadas diversas vezes com água destilada até a neutralização do pH. As amostras foram transferidas para recipientes de alumínio e secas em estufa em temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$ , por 24 horas.

### **3.2.6. Caracterização mineralógica e textural de solos e sedimentos**

#### **3.2.6.1. Granulometria**

Para granulometria são necessários cerca de 120 g de material, *in natura*, de cada amostra. A análise granulométrica dos diferentes domínios sedimentares da Ilha de Marajó (paleocanais, planície de inundação e Pós Barreiras) foi realizada no Departamento de Solos (ESALQ/USP), pelo método do densímetro (KIEHL, 1979), sendo o resultado expresso em porcentagem de areia, silte e argila. A classificação da textura foi de acordo com o diagrama de Shepard (1954).

#### **3.2.6.2. Análise química**

Este tipo de análise envolveu o valor de pH, quantidade de potássio, cálcio, magnésio e alumínio dos três diferentes tipos de materiais (localizados nos pontos MOC-F, C-CRUZ e C-CAM)

encontrados no nordeste da Ilha, totalizando 27 amostras. Cerca de 200 g de cada amostra de solo, *in natura*, foi encaminhada para o Departamento de Solos (ESALQ/USP).

### 3.2.6.3. Microscopia óptica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Esta análise foi realizada no Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE/UNESP), onde foram preparadas lâminas de amostras de sedimentos na fração granulométrica correspondente a areia muito fina e silte (material retido entre as malhas de 0,075 mm e 0,045 mm). As lâminas foram montadas com Bálsamo do Canadá (índice de refração de 1,54). A microscopia óptica (microscópio Carl Zeiss) envolveu a identificação e contagem de 500 grãos minerais, de modo a verificar possíveis variações de constituintes mineralógicos em diferentes profundidades de alguns perfis de estudo. A forma (esfericidade e arredondamento) dos minerais também foi avaliada.

Alguns minerais também identificados por análise de MEV/EDS, no Núcleo de Pesquisas Geológicas da Litosfera (NUPEGEL), através do equipamento Jeol, modelo JSN 5600LV, acoplado a um espectrômetro de energia dispersiva (EDS) NORAN/voyager.

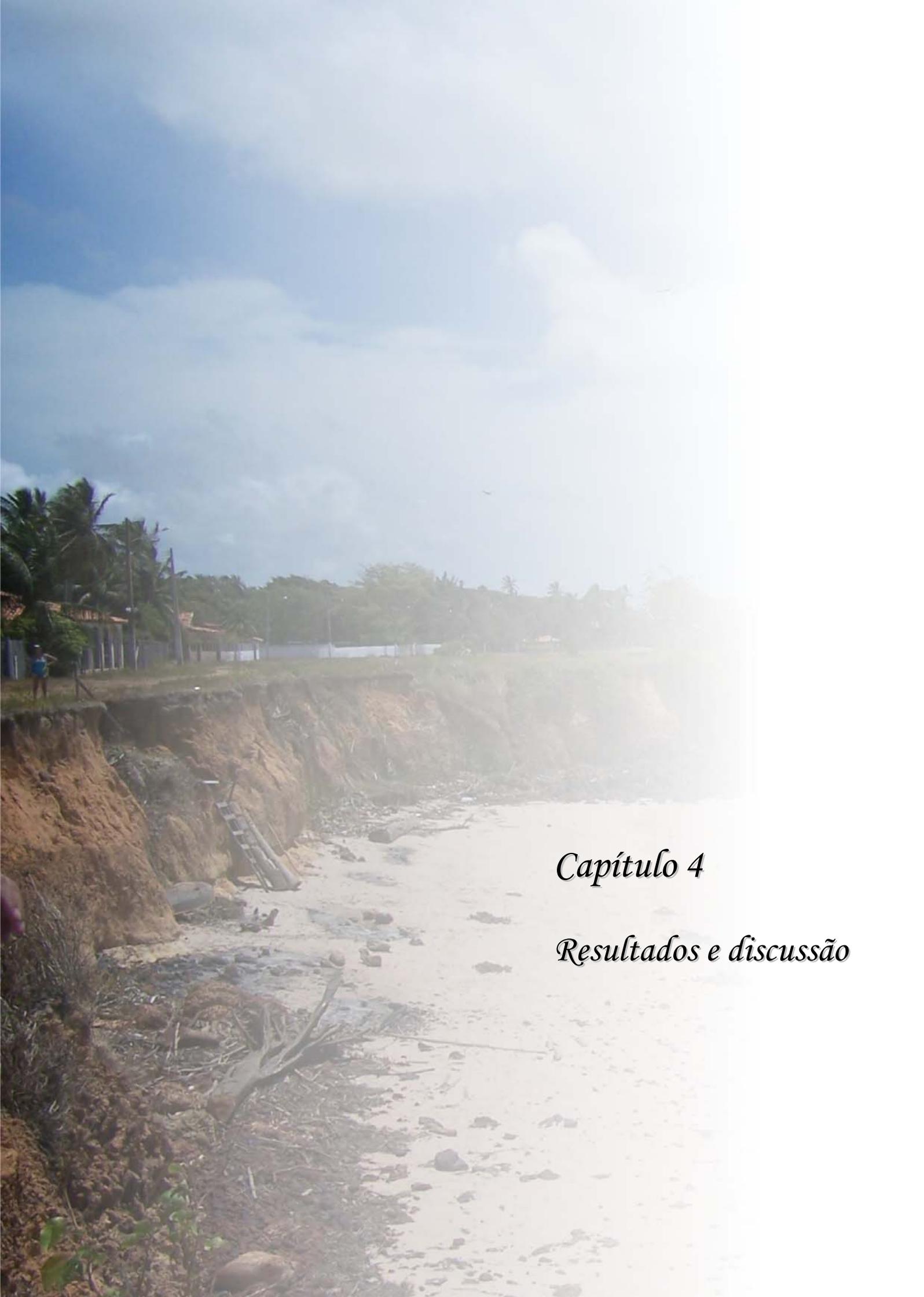
### 3.2.7. Análise qualitativa de microfósseis (espículas de esponjas)

#### 3.2.7.1. Pré-tratamento das amostras sedimentos para análise de espículas de esponjas

O preparo de amostras para análise de espículas de esponja envolve somente a eliminação da matéria orgânica do sedimento. Neste caso foi utilizado ácido nítrico (65%) a quente. Uma quantidade de aproximadamente 1,5 cm<sup>3</sup> de sedimento foi separada e colocada em tubos de ensaio (de vidro) de 15 ml. Aproximadamente 3 ml de ácido nítrico foram adicionados. Cada tubo é levado em chama, até que o ácido comece a ferver. O tubo então é retirado da chama por um momento e novamente colocado sobre a chama. Este processo se repete por três vezes. Após o esfriamento do tubo, o mesmo é levado para centrífuga e o sobrenadante com a matéria orgânica descartado. Segue-

se quatro lavagens com água destilada e quatro lavagens com álcool. O resíduo é colocado em lâmina, coberto com Entellan e lamínula.

A determinação das espécies de espículas de esponjas teve a colaboração de Cecília Volkmer-Ribeiro, da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul. As lâminas estudadas encontram-se depositadas e catalogadas na Coleção de Porífera do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN-FZB).



## *Capítulo 4*

### *Resultados e discussão*

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As etapas de campo se concentraram no domínio nordeste e sudoeste da Ilha de Marajó, em dezesseis pontos representados por diferentes fitofisionomias (mata, campo arborizado, campo limpo e cerrado *sensu stricto*). Foram realizadas treze tradagens (para posterior caracterização isotópica da matéria orgânica) e três poços (para seleção de amostras para datação da matéria orgânica pelo método  $^{14}\text{C}$ , juntamente com análise do  $\delta^{13}\text{C}$  de todo o perfil). As espécies botânicas da vegetação natural de cobertura em cada ponto foram identificadas e coletadas alguns exemplares, os mais próximos ao furo de amostragem de solos/sedimentos, para caracterização isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e posterior classificação em plantas  $\text{C}_3$  ou  $\text{C}_4$ . Com a caracterização isotópica da vegetação de cobertura e a análise do  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria orgânica de solos e sedimentos em cada ponto, em diferentes profundidades, foi possível comparar, considerando os ciclos fotossintéticos  $\text{C}_3$  ou  $\text{C}_4$ , se houve troca ou não desta vegetação com o passar do tempo geológico, neste caso, o Holoceno e Pleistoceno Superior. A datação  $^{14}\text{C}$  forneceu a cronologia destas mudanças sendo possível realizar a inferência de mudanças climáticas ou de outras mudanças ambientais na região.

A textura dos solos interfere na mobilidade da matéria orgânica derivada da vegetação de cobertura. Deste modo, a proporção de areia, silte e argila de todos os perfis estudados isotopicamente nesta etapa de campo foi determinada.

Como o domínio oriental da Ilha de Marajó é constituído essencialmente por sedimentos holocênicos de origem fluvial/estuarina, coube no presente trabalho uma caracterização mineralógica e textural de tais sedimentos com intuito de avaliar, juntamente com os dados isotópicos, se houve variação em sua constituição com o decorrer do tempo.

Os resultados isotópicos possibilitaram analisar a dinâmica da vegetação durante o Pleistoceno superior e Holoceno. A caracterização dos sedimentos amostrados, incluindo análise de microfósseis, registraram mudanças ambientais significativas durante o Quaternário Tardio.

## 4.1 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DOS SEDIMENTOS E SOLOS

A Figura 28 representa os perfis esquemáticos, referentes à classe de granulometria, dos solos e sedimentos estudados. Os resultados foram plotados no diagrama de Shepard (1954) para a classificação da textura (Apêndice A).

### 4.1.1. *Paleocanais*

Os pontos MOC-F, MOC-TF e MOC-TC estão inseridos nos domínios de paleocanais. O ponto MOC-F é constituído por material essencialmente siltoso sotoposto por um material mais fino (silte argiloso), no topo do perfil (100 cm). Os pontos MOC-TF e MOC-TC estão localizados próximos, entretanto em outro paleocanal e apresentam texturas semelhantes (Figura 28). O pacote sedimentar basal é arenoso e diminui gradativamente de granulometria em direção ao topo do perfil (granodecrescência ascendente), o qual é constituído por silte argiloso em MOC-TF e silte arenoso em MOC-TC. A areia dos sedimentos nestes três perfis apresenta granulometria muito fina. A coloração é bege, com mosqueado representado por manchas alaranjadas de óxi-hidróxidos de ferro. Na porção basal dos perfis de MOC-F e MOC-TF (a partir de 240 cm e 210 cm respectivamente) a coloração torna-se abruptamente cinza com freqüentes fragmentos de vegetais (Figura 28), por vezes carbonizados (predominantemente milimétricos), orientados segundo a estratificação deste pacote sedimentar. No ponto MOC-TC, estes fragmentos vegetais não aparecem, provavelmente devido a profundidade atingida na amostragem (210 cm).

Alguns intervalos do ponto MOC-F foram analisados por petrografia (Tabela 3), indicando a presença dos seguintes minerais: quartzo (o mais abundante), feldspato, muscovita, agregado de caulinita com óxi-hidróxidos de ferro, opacos, hornblenda/actinolita, zircão, turmalina e biotita. Na fração orgânica foram identificados fragmentos vegetais, opala orgânica (provavelmente fitólitos), espículas de esponjas e grão de pólen.

**Tabela 3 - Petrografia dos sedimentos de paleocanal (ponto MOC-F)**

MOC-F														
Amostra	MINERAIS									ORGÂNICOS				
MOC-F	Qtz	Fds	Ms	Kln+Hem+Gt	Op	Zrn	Hbl	Tur	Bt	Frag. veg.	Opl	Esp.	Pn	ND
0-10	356	23	45	23	23	1	----	----	----	20	6	3	----	----
50-60	379	40	68	4	1	2	----	----	----	----	2	4	----	----
90-100	361	57	49	26	----	2	----	----	----	----	4	1	----	----
150-160	351	47	88	10	----	2	2	----	----	----	----	----	----	----
190-200	355	54	69	18	----	----	1	1	----	----	1	1	----	----
240-250	338	55	59	29	1	2	3	----	----	2	----	1	1	8
280-290	316	47	64	36	10	1	12	----	1	6	1	3	----	3

Minerais - Qtz: quartzo; Fds: feldspato, Ms: muscovita, Kln+Hem+Gt: agregado de caulinita com óxi-hidróxidos de ferro, Op: opacos; Zrn: zircão, Hbl: hornblenda, Tur: turmalina, Bt: biotita. Orgânicos – Frag. veg.: fragmentos vegetais, Opl: opala (provavelmente fitólitos), Esp.: espículas, Pn: pólen, ND: não determinado

Os minerais instáveis ao intemperismo químico estão concentrados em maiores profundidades, sendo que cristais de hornblenda ocorrem somente a partir de 150 cm e biotita somente no intervalo de 280-290 cm. Os grãos de feldspato são comuns em todo o perfil, sendo a maior quantidade deste mineral registrada no intervalo de 90-100 cm, perfazendo 11,4% da amostra e a menor quantidade na superfície (4,6%).

#### 4.1.2. Planície de inundação

Os pontos MOC-C, C-CAT, C-BAT, C-CRUZ e C-AE estão situados nas planícies de inundação da Ilha de Marajó. Os dois primeiros pontos foram selecionados para análise granulométrica (Figura 28) e petrografia. Como característica geral todos os pontos na época de seca apresentam grandes gretas de contração na superfície, com aberturas centimétricas, por vezes atingindo mais de 30 cm de profundidade. O material é essencialmente lamoso (silte e argila), com coloração cinza médio a cinza escuro em profundidade (abaixo de 100 cm) e marrom claro em superfície. Fragmentos vegetais carbonizados, centimétricos a milimétricos, são frequentes em profundidades aproximadamente abaixo de 150 cm. A sedimentação da planície de inundação esteve associada com o período de atividade dos canais (atualmente abandonados) da Ilha de Marajó.

O perfil sedimentar do ponto MOC-C é constituído por material lamoso, de coloração cinza médio em no intervalo de 70 cm a 370 cm, associados com grande quantidade de fragmentos vegetais carbonizados, de tamanhos centimétricos a milimétricos (de 110 cm a 370 cm). Na superfície a coloração é marrom, com ausência de fragmentos vegetais.

O ponto C-CAT apresenta um pacote de silte argiloso na base em contato com uma argila siltica em superfície (Figura 28). Não foi observada a presença de fragmentos vegetais neste perfil.

O ponto C-BAT é representado por material lamoso de coloração marrom na superfície e coloração cinza em profundidades abaixo de 100 cm. Grande quantidade de fragmentos vegetais carbonizados são encontrados neste intervalo (170 a 400 cm).

Os seguintes minerais estão presentes na fração silte deste perfil (Tabela 4): quartzo, feldspato, muscovita, biotita, hornblenda, zircão, opacos e os dominantes, óxi-hidróxidos de ferro (hematita e goethita). Entre os orgânicos há fragmentos vegetais, opala (em amostras superficiais) e grãos de pólen.

Tabela 4 - Petrografia de sedimentos de planície de inundação (ponto C-BAT)

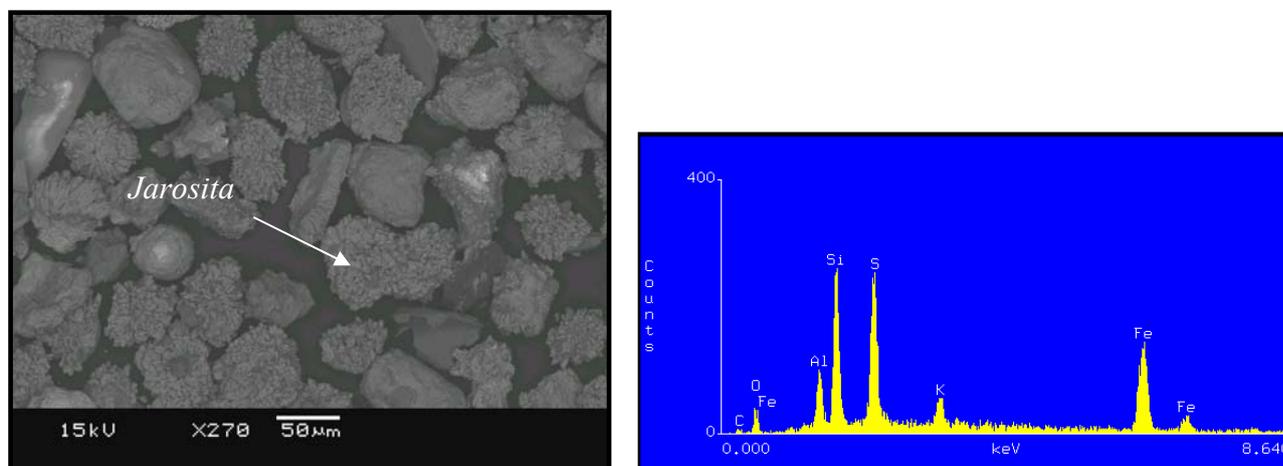
Amostra	C-BAT								ORGÂNICOS			
	MINERAIS											
C-BAT	Qtz	Fds	Ms	Bt	Hbl	Zrn	Op	Hem+Gt	Frag. veg.	Opl	Pn	ND
20-30	30	1	9	----	----	----	5	436	7	7	3	2
90-100	57	7	22	----	----	1	5	365	28	5	7	2
170-180	3	-----	2	----	----	----	35	399	61	----	----	----
270-280	6	2	51	----	5	----	11	403	19	----	1	----
350-360	112	40	103	1	6	----	28	114	96	----	----	----

Minerais - Qtz: quartzo; Fds: feldspato, Ms: muscovita, Op: opacos; Zrn: zircão, Hbl: hornblenda, Bt: biotita. Hem + Gt: hematita e goethita, Orgânicos – Frag. veg.: fragmentos vegetais, Opl: opala (provavelmente fitólitos), Pn: pólen, ND: não determinado

O feldspato aparece em quase todas as amostras analisadas, com exceção do intervalo 170-180 cm. A quantidade diminui significativamente da base do perfil (correspondente a 8% da amostra total) para o topo (com 0,2%). Outros minerais instáveis ao intemperismo químico (hornblenda e biotita) ocorrem nas amostras mais basais (270-280 cm e 350-360 cm).

No intervalo de 270-280 cm os grãos arredondados de óxi-hidróxidos de ferro apresentam sobrecrescimento de microcristais (aproximadamente 20  $\mu$ m), translúcidos e bem cristalizados.

Devido ao tamanho, a identificação deste mineral foi obtida pela análise de MEV/EDS (Figura 26), mostrando ser provavelmente jarosita (sulfato de ferro e potássio hidratado).



**Figura 26** - Foto através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) mostrando em detalhe o sobrecrecimento de microcristais sobre as concreções de óxi-hidróxidos de ferro (amostra 270-280 cm do ponto C-BAT) O gráfico representa a análise EDS, com presença significativa de Fe, S e K (provavelmente referente a mineral do grupo da jarosita)

O ponto C-CRUZ é constituído essencialmente por argila síltica em todo o perfil (Figura 28).

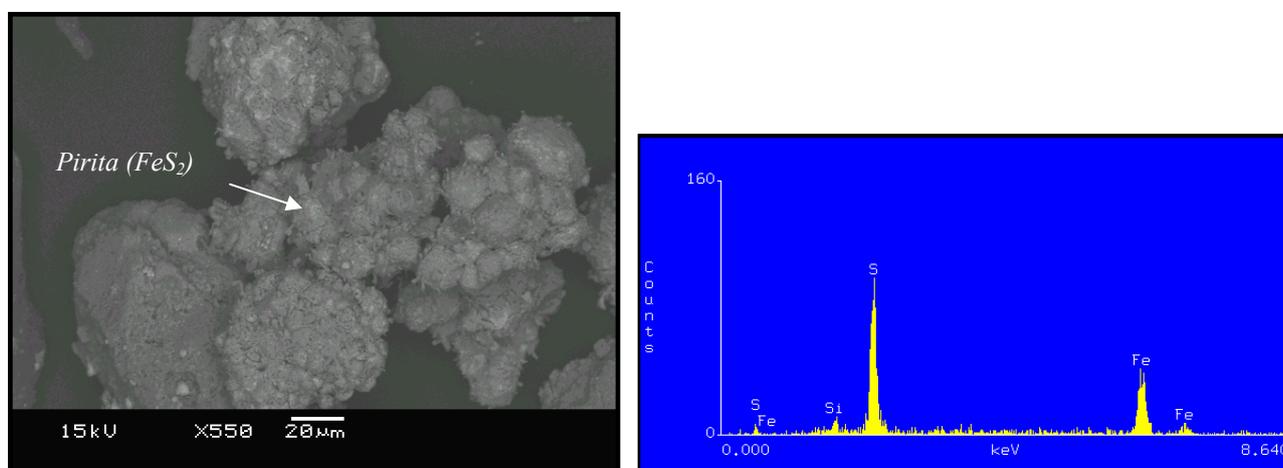
Somente no intervalo de 30 a 60 cm apresenta textura argilosa (78% de argila). No intervalo de 140 a 310 cm a coloração é cinza, com fragmentos vegetais carbonizados milimétricos a centimétricos no intervalo de 180 a 310 cm. Em microscópio óptico foram identificados os seguintes minerais da fração silte (tabela 5): quartzo, feldspato, muscovita, agregado (caulinita e óxi-hidróxidos de ferro), óxido-hidróxidos de ferro (dominantes em quase todo perfil), opacos, hornblenda e biotita.

Tabela 5: petrografia dos sedimentos de planície de inundação (ponto C-CRUZ)

Amostra	C-CRUZ									ORGÂNICOS				
	MINERAIS													
C-CRUZ	Qtz	Fds	Ms	Kln+ Hem+Gt	Hem+Gt	Op	Hbl	Bt		Frag. veg.	Opl	Esp.	Pn	ND
0-10	10	1	----	121	51	12	----	----		203	63	4	7	22
40-50	18	4	----	----	428	27	----	----		9	7	----	----	7
90-100	82	10	8	----	385	12	1	----		2	1	----	----	1
150-160	70	10	25	----	389	----	1	----		4	----	1	----	----
220-230	18	8	3	226	127	94	1	----		20	1	----	----	----
270-280	64	18	10	38	10	278	2	1		79	----	----	----	----

Minerais - Qtz: quartzo; Fds: feldspato, Ms: muscovita, Kln+Hem+Gt: agregado de caulinita com óxi-hidróxidos de ferro, Hem+Gt: hematita e goethita, Op: opacos; Zrn: zircão, Hbl: hornblenda, Bt: biotita. Orgânicos - Frag. veg.: fragmentos vegetais, Opl: opala (provavelmente fitólitos), Esp.: espículas, Pn: pólen, ND: não determinado

No intervalo 270-280 cm, a análise de MEV/EDS (Figura 27) permitiu afirmar que os grãos opacos (dominantes neste intervalo) arredondados tratam-se de pirita ( $\text{FeS}_2$ ). Os minerais instáveis ao intemperismo químico como hornblenda e biotita aparecem em profundidades abaixo de 100 cm e 270 cm respectivamente. O feldspato está presente em todas as amostras, diminuindo gradativamente da base (3,6%) para o topo do perfil (0,2%). Entre os orgânicos foram identificados fragmentos vegetais, opala orgânica (grãos frequentes na superfície, representando 12,6% da amostra total), espículas de esponjas e pólen.



**Figura 27** - Foto através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) mostrando em detalhe o mineral arredondado, com aspecto botroidal encontrado no intervalo de 270-280 cm do ponto C-CRUZ. O gráfico representa a análise EDS, com presença significativa de Fe e S (provavelmente referente a pirita –  $\text{FeS}_2$ ).

O último ponto amostrado (C-AE) em domínio da planície de inundação difere sensivelmente de outros pontos em relação à textura e estrutura sedimentar. Há domínio de material lamoso em quase todo o perfil, com exceção do intervalo de 230 a 250 cm, onde ocorre alternância entre camadas centimétricas constituídas por areia fina com camadas siltsas. Estas camadas estão dobradas, mas cabe ressaltar que esta deformação pode estar associada ao tipo de amostragem realizada (tradagem). Os fragmentos vegetais carbonizados estão presentes no intervalo de 260-270 cm.

#### 4.1.3. Pós- Barreiras (setor leste da Ilha)

Os solos desenvolvidos sobre os sedimentos Pós- Barreiras (de idade Plio-Pleistocênica) são encontrados em uma faixa no extremo leste da Ilha de Marajó . Os pontos CA-IM, CA-C, CA-F e C-CAM estão inseridos neste domínio, porém sobrepostos por sedimentos holocênicos na superfície (aproximadamente 100 cm de espessura).

O ponto CA-IM está inserido no domínio de um paleocanal em contato abrupto com a Formação Pós Barreiras em 100 cm de profundidade. O material é arenoso em superfície (até 100 cm), com coloração marrom, passando abruptamente para uma areia bege, mosqueada e com freqüentes concreções centimétricas de óxi-hidróxidos de ferro (100 a 360 cm). A análise petrográfica mostra o domínio de grãos de quartzo (representando em média 92% da amostra total). Minerais ultra-estáveis ao intemperismo químico (zircão, rutilo e turmalina) estão presentes em quase todas as amostras analisadas. Também ocorre muscovita, opacos e agregados de óxi-hidróxidos de ferro com ou sem caulinita. Entre os orgânicos há fragmentos vegetais e opala (Tabela 6).

Tabela 6 - Petrografia do solo desenvolvido sobre os sedimentos Pós Barreiras (ponto CA-IM)

CA-IM										
Amostra	MINERAIS								ORGÂNICOS	
CA-IM	Qtz	Ms	Zn	Rt	Tur	Op	Kln+Hem+Gt	Hem+Gt	Frag. veg.	Opl
10-20	448	7	1	1	----	1	9	2	28	1
50-60	460	10	1	1	1	1	11	3	11	----
110-120	479	3	----	----	----	3	6	7	----	1
170-180	455	14	----	1	1	2	4	21	1	----
250-260	471	1	1	----	1	10	3	13	----	----
310-320	469	10	2	----	1	4	4	9	----	----

Minerais - Qtz: quartzo; Ms: muscovita, Kln+Hem+Gt: agregado de caulinita com óxi-hidróxidos de ferro, Op: opacos; Zn: zircão, Tur: turmalina, Rt: rutilo. Orgânicos – Frag. veg.: fragmentos vegetais, Opl: opala (provavelmente fitólitos).

O ponto CA-C está inserido no domínio da planície de inundação e possui uma superfície argilosa (30 cm), com gretas de contração. Esta camada apresenta contato abrupto com um material areno argiloso, cinza esbranquiçado, estando mosqueado e apresentando concreções de óxi-hidróxidos de ferro. A amostragem foi interrompida pelo nível laterítico situado a 210 cm.

O ponto CA-F, como o ponto CA-IM, também apresenta na superfície um pacote arenoso de 100 cm de espessura, friável, de coloração marrom escura. Este material apresenta contato abrupto com material arenoso (100 a 330 cm), de coloração bege a cinza esbranquiçado claro em profundidade, mosqueado, com concreções centimétricas de óxi-hidróxidos de ferro. A partir de 220 cm os óxidos de ferro predominam, formando concreções e manchas verticais alaranjadas. O perfil mostrando a variação de textura (granulometria) encontra-se na Figura 29.

No ponto C-CAM a maior parte do perfil é constituído por argila siltica e somente nos primeiros 30 cm ocorre um silte argiloso (Figura 29). A areia apresenta uma granulometria maior (média). Representa material evoluído intempericamente, com argila caulínica e formação de crosta laterítica a 140 cm de profundidade.

#### 4.1.4. Pós- Barreiras (setor sudoeste da Ilha)

Nos arredores da cidade de Breves, os quatro pontos em estudo (TU-F, TU-F II, PC-F e TG) estão inseridos no domínio de solos desenvolvidos sobre os sedimentos Pós Barreiras.

O perfil amostrado no ponto TU-F, na superfície (até 100 cm de profundidade) encontra-se um pacote arenoso, friável, de coloração marrom que apresenta contato abrupto com um silte arenoso de coloração bege. No intervalo de 60 cm a 70 cm foram encontrados fragmentos vegetais carbonizados centimétricos (os maiores amostrados tanto na primeira como na segunda etapa de campo). Na zona de contato aparecem pequenos blocos (raramente ultrapassando 10 cm de comprimento), angulosos, dispostos verticalmente, constituídos de areia siltica consolidada, bege, com registros de bioturbação. No intervalo de 125 cm o silte arenoso de coloração bege apresenta contato com um silte arenoso de coloração cinza, mosqueado pela presença de óxi-hidróxidos de ferro, por vezes formando concreções centimétricas.

O quartzo é o constituinte mineralógico dominante, representando em média 90% da amostra, seguidos por muscovita e agregados de caulinita e óxi-hidróxidos de ferro (Tabela 7). Também ocorrem raramente turmalina, rutilo, zircão, cianita e opacos. Na superfície há opala orgânica (provavelmente fitólitos).

Tabela 7 - Petrografia do solo desenvolvido sobre sedimentos Pós Barreiras (ponto TU-F)

TU-F										
Amostra	MINERAIS									ORGÂNICOS
TU-F	Qtz	Ms	Cia	Zrn	Rt	Tur	Op	Hem+Gt	Kln+Hem+Gt	Opl
20-30	446	33	----	1	1	1	1	----	15	1
80-90	471	10	----	----	----	2	8	----	6	3
120-130	445	48	----	1	----	1	----	----	2	----
170-180	447	37	1	----	1	1	1	3	10	----
240-250	445	38	1	----	1	1	4	1	9	----

Minerais - Qtz: quartzo, Ms: muscovita, Cia: cianita, Kln+Hem+Gt: agregado de caulinita com óxi-hidróxidos de ferro, Hem+Gt: hematita e goethita, Op: opacos; Zrn: zircão, Tur: turmalina, Rt: rutilo. Orgânicos –Opl: opala (provavelmente fitólitos).

O ponto TU-F II foi amostrado apenas até um metro sendo representado por material arenoso de coloração marrom, friável, semelhante ao descrito no ponto anterior.

No ponto PC-F também apresenta um material semelhante ao descrito no ponto TU-F.

O ponto TG apresenta uma superfície argilo siltosa (com 30 cm de espessura). A partir desta profundidade ocorre um contato abrupto com material arenoso, mosqueado. A análise mineralógica revela o domínio de quartzo (perfazendo cerca de 90% da amostra total), seguidos por muscovita e opacos. Raramente ocorrem cianita, epidoto, estauroлита, zircão, rutilo, turmalina e agregado de caulinita com óxi-hidróxidos de ferro (Tabela 8). Também são raros os fragmentos vegetais e opala (verificados somente no intervalo de 10-20 cm)

Tabela 8 - Petrografia do solo desenvolvido sobre sedimentos Pós Barreiras (ponto TG)

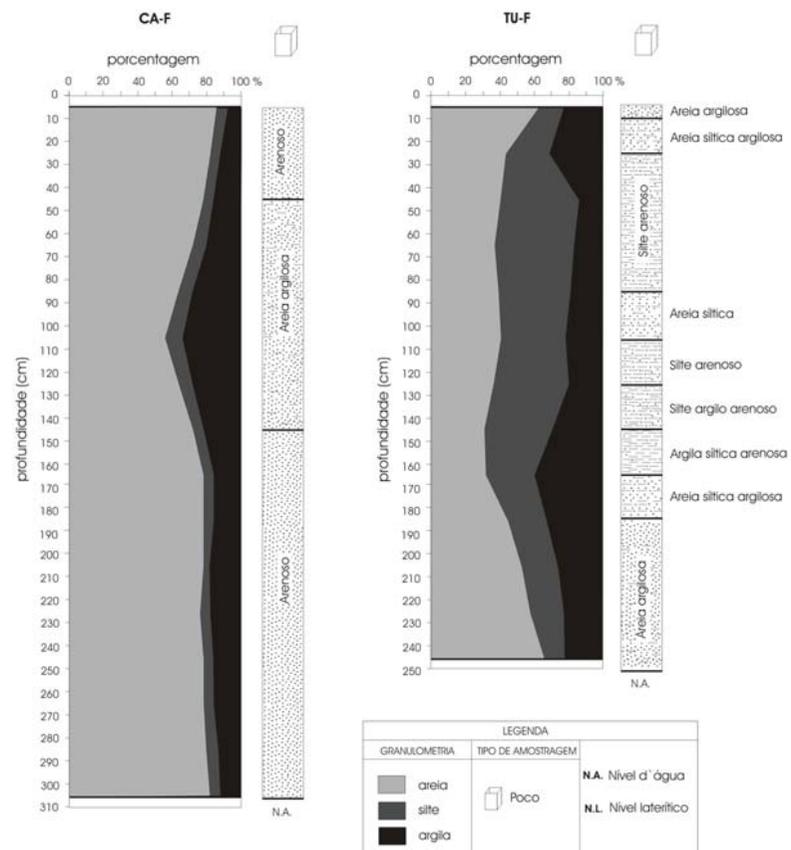
TG												
Amostra	MINERAIS										ORGÂNICOS	
TG	Qtz	Ms	Cia	Ep	Es	Zrn	Rt	Tur	Op	Kln+Hem+Gt	Frag. veg.	Opl
10-20	455	35	----	----	----	1	----	----	6	----	1	1
50-60	460	28	1	1	1	2	1	3	3	1	----	----
120-130	450	46	----	----	----	----	----	1	3	----	----	----
180-190	452	45	----	----	----	1	----	----	2	----	----	----
260-270	453	45	----	----	----	----	----	----	2	----	----	----

Minerais - Qtz: quartzo, Ms: muscovita, Cia: cianita, Kln+Hem+Gt: agregado de caulinita com óxi-hidróxidos de ferro, Ep: epidoto, Es: estauroлита, Op: opacos; Zrn: zircão, Tur: turmalina, Rt: rutilo. Orgânicos –Opl: opala (provavelmente fitólito).

Em relação ao arredondamento e esfericidade dos grãos minerais no conjunto de amostras analisadas nos diferentes domínios, estes são angulosos e não esféricos, por vezes apresentados faces cristalinas como no caso de zircão.

É possível afirmar que, os diferentes domínios (paleocanais, planície de inundação e solos sobre sedimentos Pós Barreiras) são distintos entre si pelas diferentes classes de textura e estruturação. Os sedimentos de paleocanais são sempre arenosos a siltosos, de coloração bege a cinza muito claro, com freqüentes manchas alaranjadas de óxi-hidróxidos de ferro. A planície de inundação é essencialmente lamosa (argila e silte), de coloração marrom na superfície e predominantemente cinza médio a escuro em profundidade. Também é característica destes materiais a estrutura superficial formada por grandes gretas de contração que chegam a atingir 30 cm de profundidade na época seca. Os sedimentos pós-Barreiras são argilosos, siltosos ou arenosos, porém nitidamente diferenciados dos sedimentos das planícies de inundação por sua coloração (esbranquiçada, presença de caulinita, com mosqueado alaranjado por óxi-hidróxidos de ferro e ausência de minerais instáveis ao intemperismo químico) e por apresentar nível laterítico em alguns locais muito próximo à superfície (140 cm de profundidade no ponto C-CAM).





**Figura 29** - esquema referente à classe de textura dos perfis de dois pontos amostrados na segunda etapa de campo (CA-F e TU-F).

## **4.2. DATAÇÃO <sup>14</sup>C**

A cronologia de alguns perfis foi determinada através de datação pelo método <sup>14</sup>C. Os materiais orgânicos utilizados para esta análise foram a fração humina e fragmentos vegetais.

### *4.2.1. Paleocanais*

Os pontos analisados e inseridos sobre paleocanais são representados por MOC-F e CA-F.

No ponto MOC-F foram realizadas cinco datações, sendo três utilizando como material a fração humina e duas utilizando fragmentos vegetais. A fração humina dos intervalos 90-100 cm, 190-200 cm e 290-300 cm apresentaram os resultados de  $8.464 \pm 38$  anos AP,  $10.387 \pm 38$  anos AP e  $16.118 \pm 60$  anos AP, respectivamente. Os fragmentos vegetais dos intervalos 240-250 cm e 300-310 cm obtiveram as idades de  $8.048 \pm 36$  anos AP e  $8.685 \pm 39$  anos AP (Tabela 10). Como estes fragmentos possuíam pequenos tamanhos (milimétricos), provavelmente houve contaminação por ácidos orgânicos provenientes de menores profundidades, que foram absorvidos pelos fragmentos e não eliminados através do tratamento químico.

Como relatado anteriormente o ponto CA-F está no domínio de um paleocanal, porém o contato com os sedimentos Pós Barreiras está próximo a superfície (a 100 cm de profundidade). As três datações realizadas neste perfil são da fração humina. Os intervalos analisados foram 90-100 cm, 190-200 cm e 310-320 cm com idades respectivamente de  $2.810 \pm 60$  anos AP,  $5.730 \pm 80$  anos AP e  $6.330 \pm 110$  anos AP (Tabela 10).

### *4.2.2. Planície de inundação*

A cronologia do perfil C-BAT foi determinada através da datação de fragmentos vegetais dos intervalos 170-180 cm, 240-250 cm e 370-380 cm. As idades obtidas foram de  $4.918 \pm 30$  anos AP,  $4.930 \pm 36$  anos AP e  $5.702 \pm 37$  anos AP (Tabela 10). Estes fragmentos, assim como no ponto MOC-F, são de tamanhos reduzidos, porém a textura essencialmente argilosa deste perfil indica

baixa permeabilidade do mesmo, portanto provavelmente não houve contaminação de ácidos orgânicos provenientes de menores profundidades. Entretanto os valores similares de aproximadamente 4.900 anos AP, em um intervalo de 80 cm podem estar associado à uma elevada taxa de deposição na época ou à contaminação derivada do tipo de amostragem realizada neste local (tradagem).

**Tabela 9** - Datação  $^{14}\text{C}$  de amostras (fração humina e fragmentos vegetais) da Ilha de Marajó

DATAÇÃO $^{14}\text{C}$ (AMS)					
Amostra	Profundidade (cm)	Nº de Laboratório	Material	PCM*	Idade (anos AP)
MOC-F	90-100	Erl-10796	humina	34,87	8.464 ± 38
MOC-F	190-200	Erl-10797	humina	27,44	10.387 ± 38
MOC-F	240-250	Erl-10798	Fragmentos vegetais	36,72	8.048 ± 36
MOC-F	290-300	Erl-10799	humina	13,45	16.118 ± 60
MOC-F	300-310	Erl-10800	Fragmentos vegetais	33,92	8.685 ± 39
C-BAT	170-180	Erl-10801	Fragmentos vegetais	54,22	4.918 ± 30
C-BAT	240-250	Erl-10802	Fragmentos vegetais	54,13	4.930 ± 36
C-BAT	370-380	Erl-10803	Fragmentos vegetais	49,17	5.702 ± 37
CA-F	90-100	TO 13477	humina	70,51	2.810 ± 60
CA-F	190-200	TO 13478	humina	49,00	5.730 ± 80
CA-F	310-320	TO 13479	humina	45,46	6.330 ± 110
TU-F	60-70	Erl-10804	Fragmentos vegetais	67,84	3.117 ± 34
TU-F	90-100	TO 13480	humina	57,86	4.390 ± 80
TU-F	150-160	TO 13481	humina	41,84	7.000 ± 80
TU-F	240-250	TO 13482	humina	42,61	6.850 ± 100

#### 4.2.3. Solo sobre Pós- Barreiras

A matéria orgânica (fração humina) de solos desenvolvidos sobre sedimentos Pós Barreiras foi determinada em três intervalos do ponto TU-F correspondentes as profundidades de 90-100 cm, 150-160 cm e 240-250 cm, apresentando as idades de 4.390 ± 80 anos AP, 7.000 ± 80 anos AP e 6.850 ± 100 anos AP, respectivamente (Tabela 10). Neste caso há uma inversão cronológica registrada entre os intervalos 150-160 cm e 240-250 cm, talvez associada ao retrabalhamento do material. O topo do perfil foi datado através de fragmentos vegetais carbonizados, centimétricos,

encontrados no intervalo 60-70 cm. A datação correspondente a  $3.117 \pm 34$  anos AP mostra que o depósito silte arenoso de coloração marrom encontrado na superfície é holocênico.

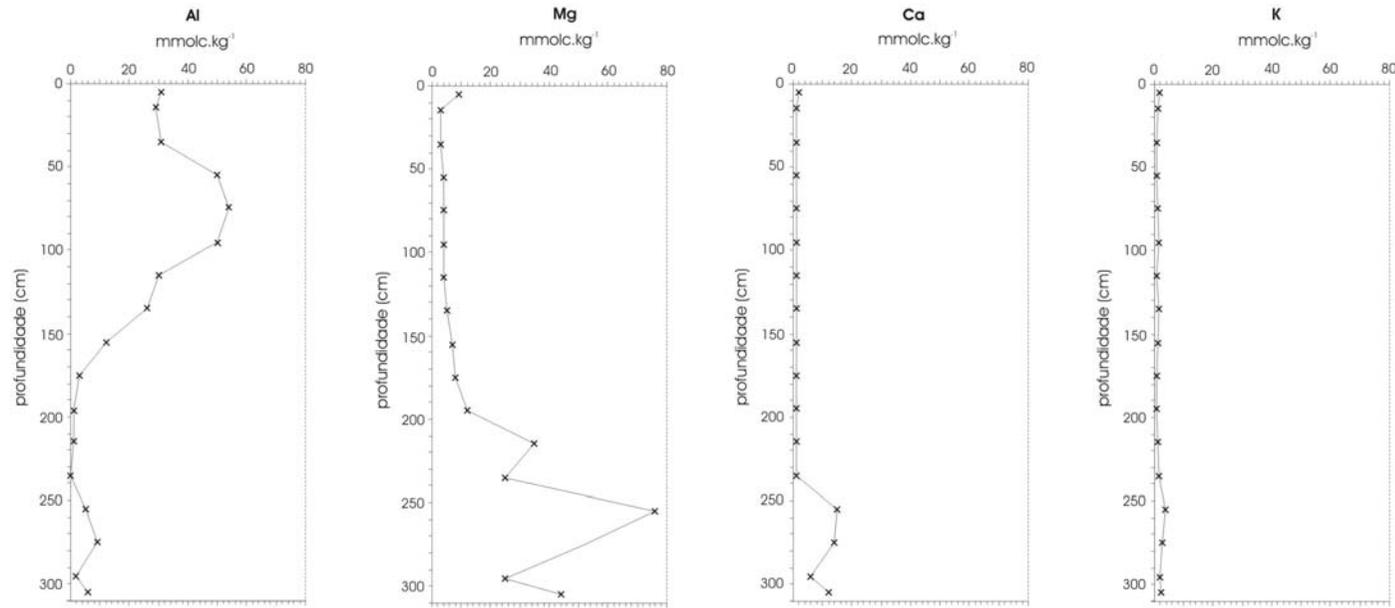
### 4.3. ANÁLISE QUÍMICA

A análise química envolvendo essencialmente três bases ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ) representando macronutrientes e Al, mostrou características distintas entre os três domínios em estudo (paleocanais, planície de inundação e Pós Barreiras).

O ponto MOC-F (paleocanal) teve dezessete amostras do perfil selecionadas para análise química (Figura 30 e Apêndice B). As maiores concentrações das bases foram registradas em maiores profundidades do perfil, atingindo valores máximos no intervalo de 250-260 cm (com 3,8 mmolc.kg<sup>-1</sup> de potássio, 15 mmolc.kg<sup>-1</sup> de cálcio e 76 mmolc.kg<sup>-1</sup> de magnésio). A quantidade de matéria orgânica neste intervalo é de 19 g.kg<sup>-1</sup>. O alumínio, ao contrário dos outros elementos analisados, apresenta as maiores concentrações na superfície do perfil, com um máximo valor registrado no intervalo de 70-80 cm com 54 mmolc.kg<sup>-1</sup> (Figura 30). O aumento do teor de bases coincide com o intervalo que apresenta coloração cinza escura no perfil devido a presença de grande quantidade de fragmentos vegetais milimétricos e de minerais instáveis ao intemperismo químico como hornblenda e biotita. Provavelmente os elementos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ) em maior concentração sejam derivados destes minerais e também dos fragmentos vegetais encontrados neste intervalo.

O perfil da planície de inundação (C-CRUZ) analisado até a profundidade de 140 cm possui concentração máxima das bases registrada no intervalo de 110-120 cm, com 9 mmolc.kg<sup>-1</sup> de potássio, 47 mmolc.kg<sup>-1</sup> de cálcio e 168 mmolc.kg<sup>-1</sup> de magnésio. A concentração do alumínio é maior na superfície (20-30 cm), estando ausente nos intervalos de 40-50 cm e 70-80 cm (Figura 30 e Apêndice B). Os argilominerais expansíveis (2:1) nestes sedimentos são provavelmente uma das fontes para as altas concentrações de bases além da água salobra contida nestes sedimentos, como já registrado em outros trabalhos (item 2.3) na planície de inundação da Ilha.

MOC-F (paleocanal)



C-CRUZ (planície de inundação)

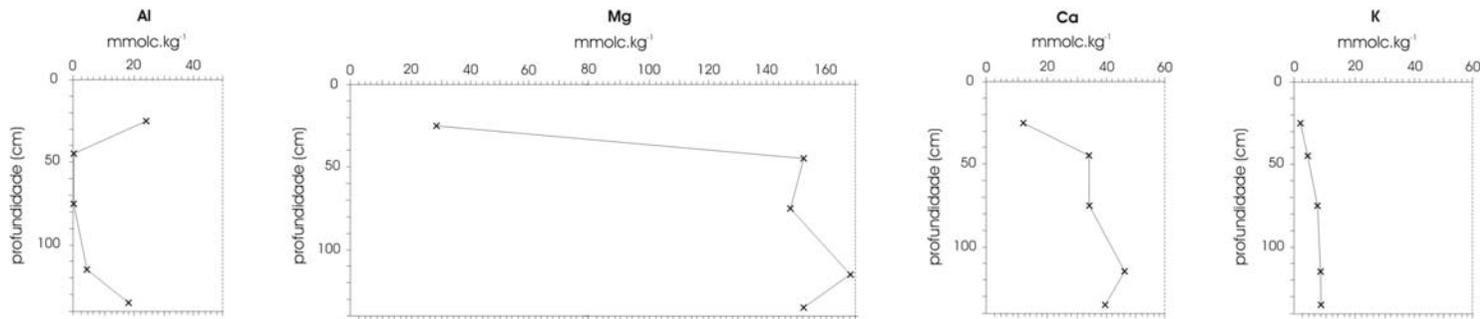
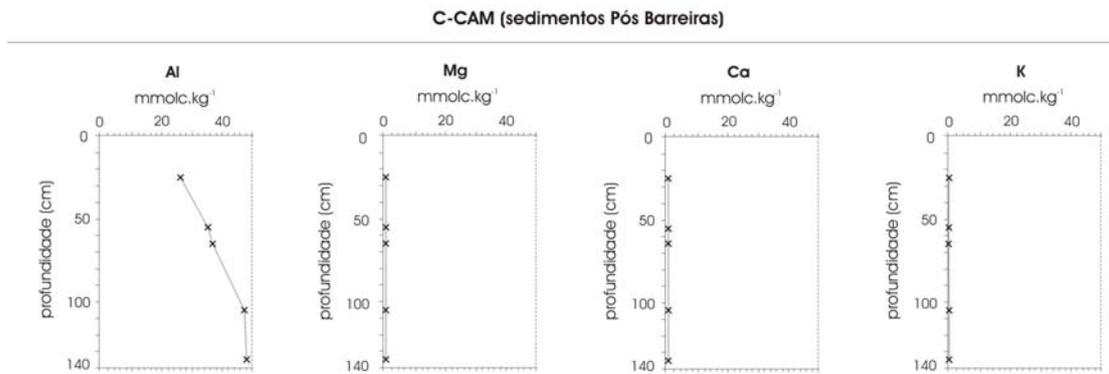


Figura 30– Análise química envolvendo os elementos Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Al de sedimentos de paleocanal (MOC-F) e planície de inundação (C-CRUZ).

Ao contrário dos sedimentos do paleocanal e da planície de inundação, o solo sobre os sedimentos Pós Barreiras (C-CAM) apresenta baixas concentrações de bases (entre 0,3 e 1,0 mmolc.kg<sup>-1</sup>). O alumínio possui tendência de aumentar a concentração com a profundidade (Figura 31 e Apêndice B), mais próximo ao nível laterítico (de 26 mmolc.kg<sup>-1</sup> no intervalo de 20-30 cm a 48 mmolc.kg<sup>-1</sup> em 130-140 cm).

## ANÁLISE QUÍMICA



**Figura 31-** Análise química envolvendo os elementos Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Al de solo desenvolvido sobre Pós Barreiras.

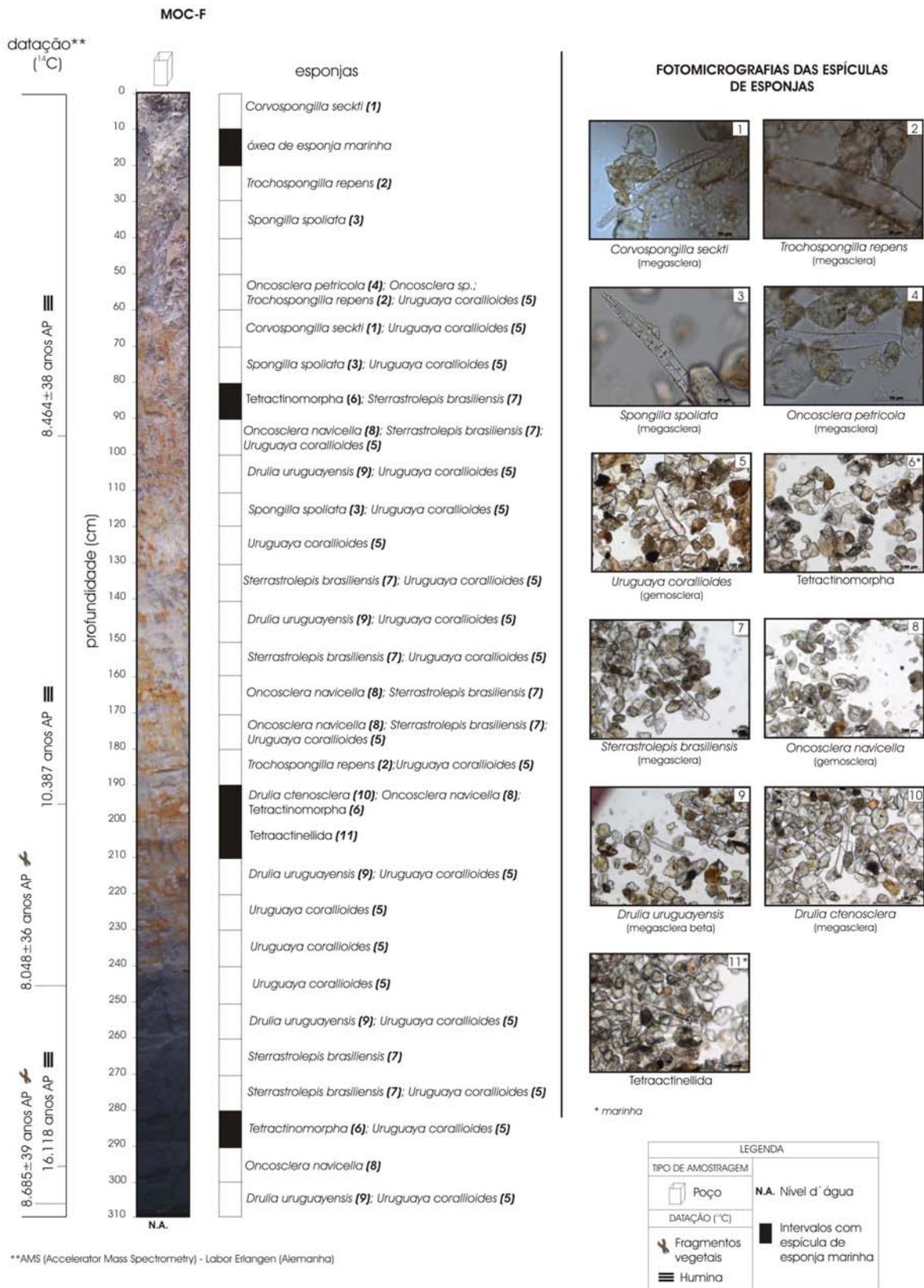
#### 4.4. ANÁLISE DE ESPÍCULAS DE ESPONJAS

No estudo dos sedimentos que constituem os paleocanais e planície de inundação no setor leste da Ilha de Marajó, um ponto inserido no domínio de um paleocanal próximo ao vilarejo de Moções (coordenadas 49°26,692' W e 0° 35,868' S), distante aproximadamente 50 km da costa atual (ponto MOC-F), evidenciou quantidade significativa de espículas de esponjas. Este ponto foi selecionado para análise destas espículas de esponjas, com objetivo de verificar possíveis mudanças paleoambientais relacionadas à dinâmica hídrica deste ambiente.

Todos os intervalos analisados contêm espículas silicosas das esponjas de água doce como *Corvospongilla sekti*, *Drulia ctenosclera*, *Drulia uruguayensis*, *Oncosclera navicella*, *Oncosclera petricola*, *Spongilla spoliata*, *Sterratrolepsis brasiliensis*, *Trochospongilla repens* e *Uruguay corallioides* (Figura 30). Todas pertencentes a espécies típicas de fundos rochosos de grandes rios amazônicos, incluindo-se registros publicados para o rio Tocantins em Tucuruí (VOLKMER-RIBEIRO & HATANAKA, 1991; TAVARES, 1994). Entretanto em alguns intervalos do perfil (10-20 cm, 90-100 cm, 190-200 cm, 200-210 cm e 280-290 cm) ocorreram conjuntamente espículas quebradas de esponja marinha da sub-classe Tetractinomorpha (Figura 32).

A ausência de fundos rochosos nos rios da Ilha de Marajó e as espículas encontradas típicas deste tipo de ambiente indicam que havia uma conexão dessa região da Ilha com o continente (fonte das espículas de água doce) durante o Quaternário Tardio. Três fases de influência marinha nos sedimentos do paleocanal foram registradas (em aproximadamente 16.000 anos AP, 10.000 anos AP e 8.000 anos AP). Estes dados concordam com trabalhos anteriores que indicam uma sedimentação fluvial/estuarina na região durante o Pleistoceno Superior e Holoceno, com separação da Ilha de Marajó do continente somente em épocas recentes do Holoceno Médio/Superior (ROSSETTI et al., 2007).

**ESPÍCULAS DE ESPONJAS IDENTIFICADAS NOS SEDIMENTOS DE PALEOCANAL (PONTO MOC-F) ATRAVÉS DE MICROSCOPIA ÓPTICA**



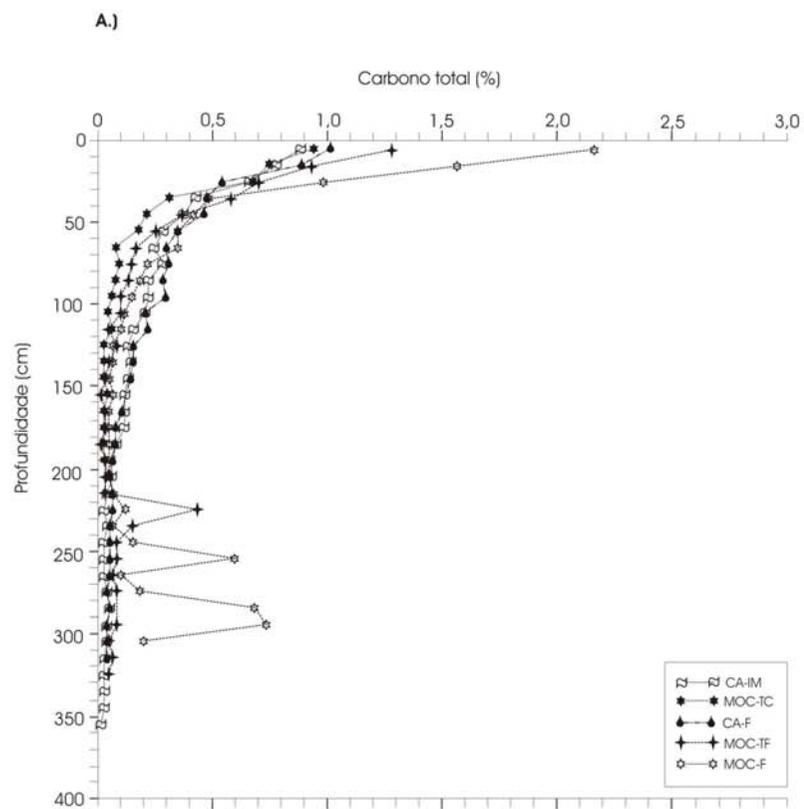
**Figura 32-** Análise de espículas de esponjas em sedimento de paleocanal (ponto MOC-F). As espículas de esponjas de água doce estão presentes em todo perfil, entretanto em alguns intervalos também há espículas de espécies marinhas, indicando provavelmente um ambiente estuarino na época de deposição destes sedimentos.

#### **4.5. CARBONO ORGÂNICO TOTAL**

Para a representação dos valores de Carbono Orgânico Total (COT) da matéria orgânica nos perfis, foram construídos quatro gráficos (Figuras 33 e 34), de acordo com as tendências nos perfis constituídos por materiais arenosos (paleocanais) e perfis constituídos por materiais argilosos (planície de inundação) e argilosos a arenosos (solos sobre Pós-Barreiras).

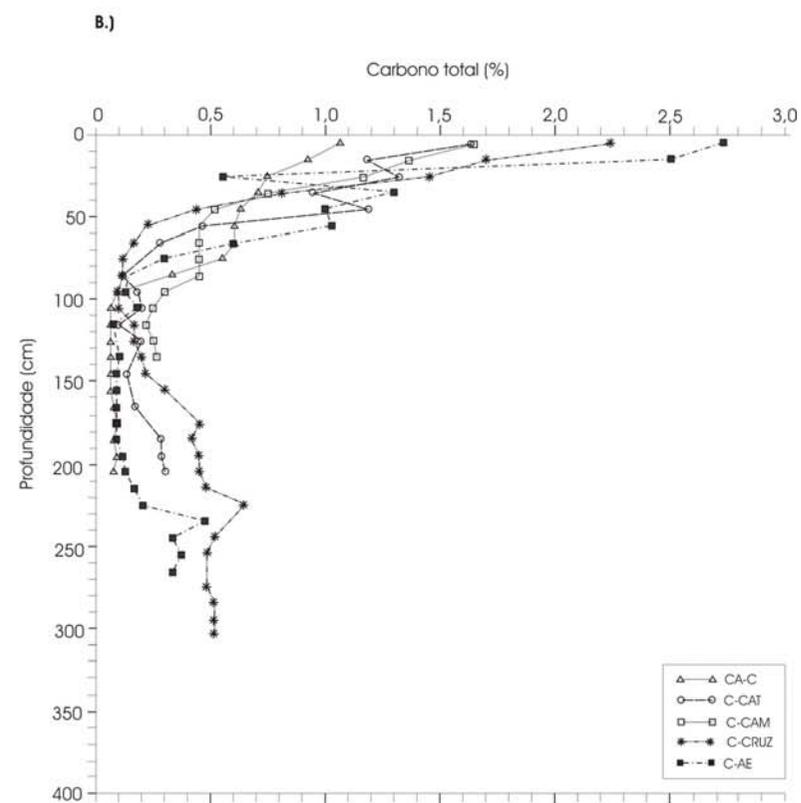
O gráfico da Figura 33 A representa os valores de carbono da matéria orgânica contida nos paleocanais do setor leste da Ilha (Apêndice D). O maior valor superficial de carbono orgânico total encontra-se no ponto MOC-F (2,16%) e o menor valor foi registrado no ponto CA-IM (0,88%). Os valores de carbono diminuem gradativamente em direção à base do perfil, sendo que em 200 cm os valores de todos os pontos estão ao redor de 0,05%. A tendência de diminuição dos valores em maiores profundidades (abaixo de 200 cm) não foi observada em dois pontos analisados (MOC-F e MOC-TF). Nos intervalos mais profundos (250-260 cm e 290-300 cm) de MOC-F ocorrem dois picos de aumento abrupto no teor de carbono, atingindo valores de 0,60% e 0,75%. No ponto MOC-TC ocorre um pico a 220-230 cm onde atinge o valor de 0,43%. Estes aumentos provavelmente são devidos à freqüente presença de fragmentos vegetais milimétricos nestes depósitos.

Os valores de carbono orgânico total dos sedimentos da planície de inundação estão representados no gráfico da Figura 33 B. O valor máximo de COT atingido no intervalo superficial de 0-10 cm foi do ponto C-AE (2,73%), seguido pelos valores dos pontos C-CRUZ (2,23%), C-CAM (1,65%), C-CAT (1,63%) e CA-C (1,06%). Estes valores diminuem gradativamente até 100 cm, onde atinge valores entre 0,31% em C-CAM e 0,09% em CA-C. Neste último uma queda abrupta do valor de carbono nas camadas superficiais (de 2,5% em 10-20 cm para 0,54% em 20-30 cm) foi registrada. Esta diminuição coincide com o contato entre os sedimentos da planície de inundação com os sedimentos Pós-Barreiras. A partir de 100 cm todos os pontos tendem a aumentar gradativamente os valores de carbono (Apêndice D). Estes depósitos, como em alguns paleocanais, também apresentam fragmentos vegetais centimétricos a milimétricos na base dos perfis. O aumento do teor de carbono também é indicativo de melhor preservação da matéria orgânica (depositada em ambiente redutor).



## CARBONO ORGÂNICO TOTAL

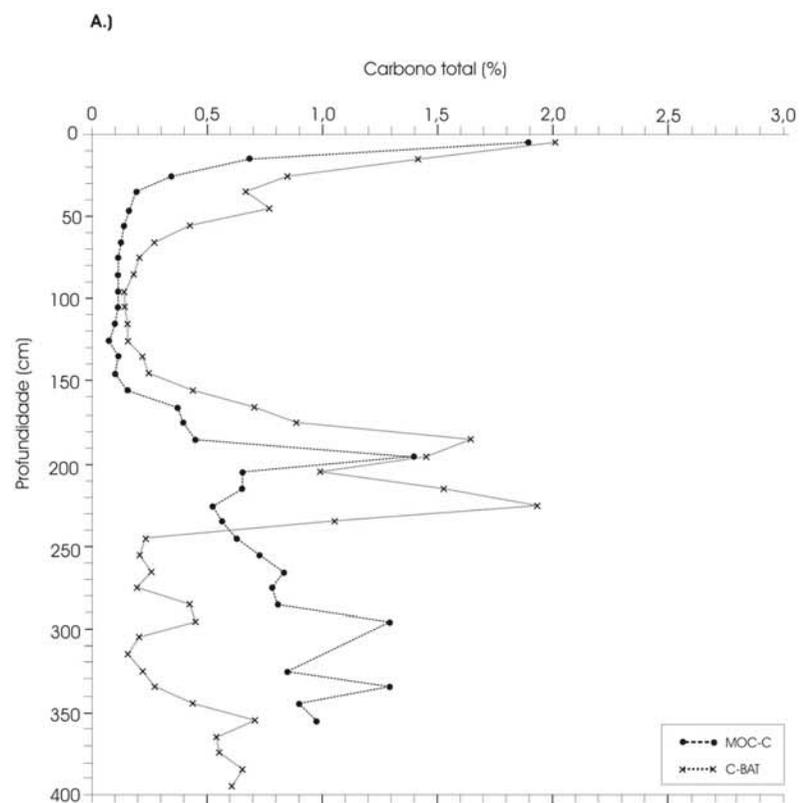
BASE DOS PERFIS: provavelmente as variações bruscas do carbono total são devidas à presença de fragmentos vegetais milimétricos.



**Figura 33** - Valores de carbono orgânico total nos perfis dos pontos estudados no nordeste da Ilha de Marajó (PA). A.) perfis em paleocanais; B.) perfis em planície de inundação e em solo desenvolvido sobre sedimento Pós-Barreiras (C-CAM).

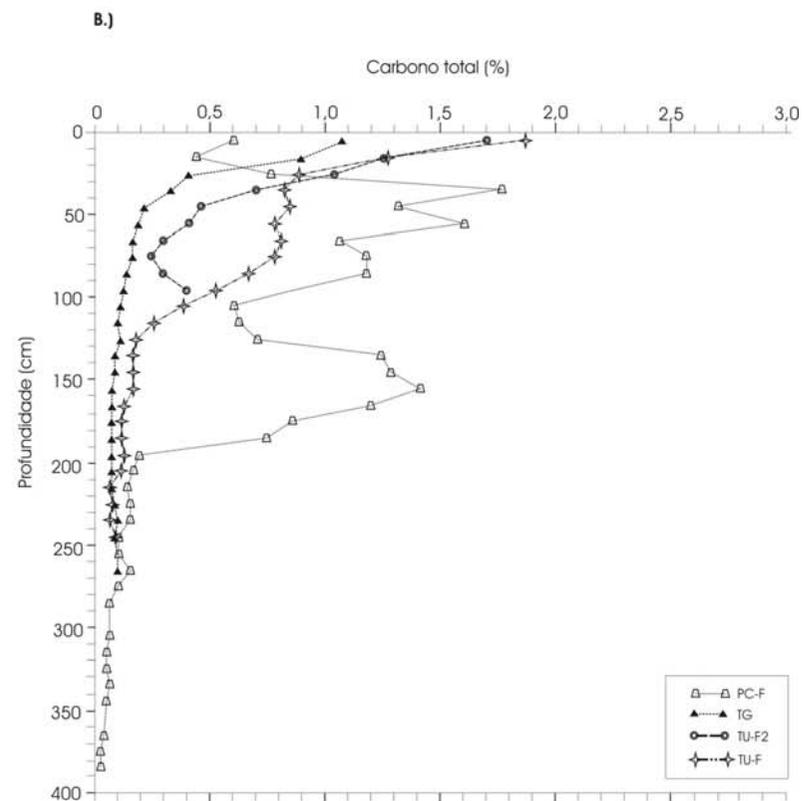
Os dois pontos constituídos por materiais argilosos da planície de inundação (MOC-C e C-BAT) foram separados do gráfico anterior por apresentarem tendências distintas dos valores de COT ao longo do perfil (Figura 34 A e Apêndice D). Na superfície o valor de COT é de 2,01% e 1,90% para os pontos C-BAT e MOC-C, respectivamente. Estes valores diminuem gradativamente até 150 cm, onde atinge valores de 0,25% (ponto C-BAT) e 0,10% (ponto MOC-C). A partir desta profundidade ocorre variações bruscas no teor de carbono com três picos de maior valor em MOC-C (no intervalo de 190-200 cm com 1,39%, 290-300 cm com 1,29% e 330-340 cm com 1,29%) e dois principais picos em C-BAT (em 180-190 cm com 1,64% e 220-230 com 1,93%). Estes picos são devidos provavelmente, como já relatado anteriormente, à presença de fragmentos vegetais milimétricos.

Os teores de COT dos solos arenosos desenvolvidos sobre os sedimentos Pós-Barreiras na região de Breves estão expressos na Figura 34 B. O maior teor de carbono na superfície foi registrado no ponto TU-F (1,87%) e o menor valor no ponto PC-F (0,60%). Os pontos TU-FII e TG apresentaram valores superficiais de 1,7% e 1,07%, respectivamente e juntamente com o ponto TU-F, os valores de COT da matéria orgânica diminuem gradativamente para a base do perfil. Já o perfil do ponto PC-F possui tendência diferenciada em relação aos outros pontos dos valores de COT ao longo do perfil. A partir de 200 cm os valores de carbono estão ao redor 0,1%, entretanto da superfície até 200 cm chegam a atingir 1,76% entre 30-40 cm e 1,41% em 150-160 cm (Apêndice D).



## CARBONO ORGÂNICO TOTAL

BASE DOS PERFIS: provavelmente as variações bruscas do carbono total são devidas à presença de fragmentos vegetais milimétricos.



**Figura 34** - Valores de carbono orgânico distintos em dois pontos em planície de inundação (A) e Pós-Barreiras nos arredores de Breves (B).

## 4.6. DADOS ISOTÓPICOS DO CARBONO

### 4.6.1. CARACTERIZAÇÃO ISOTÓPICA DA VEGETAÇÃO DE COBERTURA

Amostras foliares das espécies botânicas de cada ponto de coleta de solos ou sedimentos, em diferentes ecossistemas foram selecionadas, caracterizadas isotopicamente e posteriormente classificadas em plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> (Figuras 35 a 38). O levantamento botânico completo (incluindo espécies analisadas isotopicamente e espécies que não foram analisadas) encontra-se nas Tabelas do Apêndice C.

#### 4.6.1.1. Matas sobre paleocanais (setor leste)

Nos arredores do poço realizado para coleta de sedimentos de um paleocanal (MOC-F), foram identificadas e coletadas 23 espécies botânicas dominantes para a caracterização isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) da massa foliar (Figura 35). A vegetação foi classificada como um bosque arbóreo, sendo as espécies de ervas *Bambusa sp.* (-27,08 ‰), *Heliconia psittacorum* (-32,88 ‰) e a árvore *Parinari excelsa* (-32,33 ‰) abundantes. As espécies arbóreas comuns neste local são representadas por *Caryocar glabrum* (-28,77 ‰), *Diospyrus guianenses* (-31,15 ‰), *Gustavia augusta* (-33,83 ‰), *Inga nobilis* (-30,80 ‰), *Vitex triflora* (-32,99 ‰) e *Zigia latifolium* (-31,13 ‰). Ocorrem ervas como *Calathea lutea* (-29,25 ‰), *Cyperus surinamensis* (-34,28 ‰), *Costos arabicus* (-32,14 ‰) e *Olyra longifolia* (-32,54 ‰), com valores isotópicos associados ao ciclo fossintético C<sub>3</sub>.

No ponto MOC-TF, representando também uma mata, sete espécies arbóreas dominantes foram selecionadas para análise: *Aniba citrifolia* (-33,0‰), *Cordia tetrandra* (-29,2‰), *Gustavia augusta* (-33,83‰), *Maquira coriacea* (-32,6‰), *Parinari excelsa* (-32,3‰), *Pterocarpus amazonicus* (-32,2‰) e *Simaba multiflora* (-29,9‰). A palmeira *Desmoncus polyacanthos* (-36,5‰) apresentou o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  mais empobrecido. Os cipós *Anemopaegma chrysoleucum*, *Memora magnifica* e o arbusto *Psychotria racemosa*, apresentaram valores isotópicos de -31,5‰, -

28,65‰ e -31,7‰, respectivamente. A erva *Calathea lutea*, como demonstrado na análise do ponto anterior (MOC-F) pertence ao ciclo C<sub>3</sub> (Figura 35).

Os pontos CA-IM e CA-F estão inseridos em domínios de paleocanais, porém grande parte do perfil pertence a solos desenvolvidos sobre o Pós Barreiras. Somente na superfície (aproximadamente 100 cm de espessura) encontra-se o depósito provavelmente holocênico de canais.

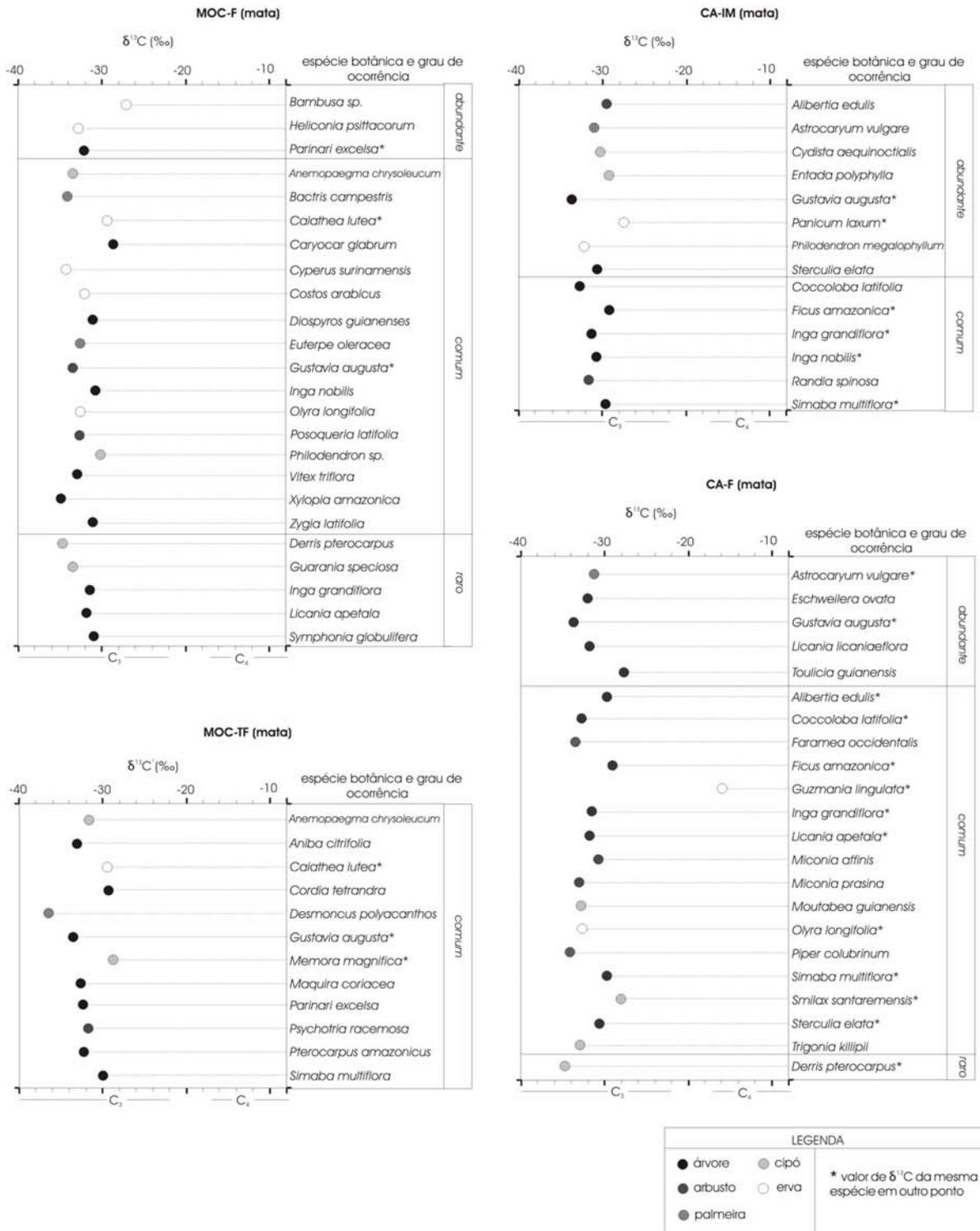
As espécies arbóreas dominantes analisadas no ponto CA-IM foram: *Coccoloba latifolia* (-32,61‰) , *Ficus amazonica* (-29,27‰) , *Inga grandiflora* (-31,36‰), *Inga nobilis* (-30,80‰), *Randia spinosa* (-31,76‰) e *Simaba multiflora* (-29,87‰). As espécies *Alibertia edulis* (-29,80‰), *Gustavia augusta* (-33,83‰) e *Sterculia elata* (-30,52‰). Também são abundantes os cipós *Cydista aequinoctialis* (-30,34‰) e *Entada polyphylla* (-29,54‰), a palmeira *Astrocaryum vulgare* (-31,28‰) e as ervas *Panicum laxum* (-27,66‰) e *Philodendron megalophyllum* (-32,18‰), Figura 35.

No ponto CA-F as espécies arbóreas *Eschweilera ovata* (-32,11‰), *Gustavia augusta* (-33,83‰), *Licania licaniaeflora* (-31,89‰), *Toulicia guianensis* (-27,82‰) e a palmeira *Astrocaryum vulgare* (-31,28‰) são abundantes. Duas ervas são comuns: *Guzmania lingulata* (-15,93‰) e *Olyra longifolia* (-32,54‰) ( Figura 35).

A espécie *Guzmania lingulata* pertence à Família Bromeliacea (epífita) portanto desenvolve o ciclo fotossintético CAM sendo a única espécie analisada nos locais de mata que apresenta valor isotópico enriquecido. Todas as outras espécies analisadas apresentam valores isotópicos que indicam associação com o ciclo fotossintético C<sub>3</sub>.

**COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA ( $\delta^{13}\text{C}$ ) DAS ESPÉCIES BOTÂNICAS**

MATAS - VEGETAÇÃO SOBRE PALEOCANAIS



**Figura 35** – Composição isotópica do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) das espécies botânicas da vegetação de matas sobre paleocanais

#### 4.6.1.2. Campos sobre planície de inundação (setor leste)

Em direção ao leste da Ilha de Marajó predominam os campos naturais. Todos os campos analisados apresentam uma mistura de plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> (Figura 36). O ponto MOC-C é um campo arborizado pelos arbustos *Citharexylum macrophyllum* (-29,42‰), *Senna reticulata* (-28,98‰) e pelas árvores *Cordia tetrandra* (-29,24‰), *Inga grandiflora* (-31,36‰), *Sapium curupita* (-26,34‰). O extrato graminoso é composto essencialmente pelas seguintes ervas: *Cyperus luzulae* (-26,00‰), *Cyperus surinamensis* (-34,28‰), *Panicum laxum* (-27,66‰), *Panicum mertensii* (-27,66‰), *Panicum rudgei* (-27,12‰) e *Paspalum orbiculatum* (-12,03‰).

O campo MOC-TC nas proximidades da mata MOC-TF, o qual apresenta contato abrupto com a mesma, teve duas espécies de gramíneas : *Panicum laxum* (-27,66‰) e *Panicum millegrana* (30,36‰) e uma espécie de arbusto *Senna reticulata* (-28,98‰) caracterizados. A espécie *Cyperus sp.* (-26,00‰) ocorre raramente (Figura 36).

O ponto C-CAT é representado por um campo arborizado pela espécie *Mimosa dormiens* (-29,79‰), em um estrato herbáceo/graminoso com *Ipomoea asarifolia* (-28,92‰), *Cyperus luzulae* (-28,43‰) e mais raramente *Paspalum ripalum* (-12,14‰). A espécie *Bulbostylis truncata* (-12,40‰), *Axonopus purpusii* (-14,48‰) e uma espécie de gramínea não identificada (-12,81‰), apresentam ciclos C<sub>4</sub> (Figura 36).

O ponto C-BAT possui duas espécies de gramíneas *Bulbostylis truncata* (-12,02‰) e *Paspalum orbiculatum* (-12,03‰) pertencentes ao ciclo C<sub>4</sub>. As ervas abundantes *Ipomoea asarifolia* (-28,92‰), *Panicum laxum* (-27,66‰), *Panicum rudgei* (-27,12‰), *Sida sp.* (-27,29‰) apresentam valores isotópicos característicos do ciclo C<sub>3</sub>. O arbusto *Ipomoea carnea* (-24,60‰) também é abundante neste tipo de campo (Figura 36).

A espécie *Ipomoea carnea* (-24,6‰) é dominante no campo limpo C-CRUZ, nas proximidades do Lago Arari (Figura 36). A gramínea *Paspalum orbiculatum* (-12,0‰) aparece raramente. Outras ervas comuns são: *Cyperus sp.* (-26,00‰), *Fimbristylis sp.* (-12,40‰), *Mimosa dormiens* (-29,79‰) e *Panicum mertensii* (-27,66‰).

No ponto C-AE são abundantes as ervas *Axonopus purpusii* (-14,48‰), *Mariscus ligularis* (-28,09‰), *Panicum laxum* (-27,66‰), *Panicum rudgei* (-27,12‰) e *Paspalum riparium* (-28,42‰). *Bulbocylis truncata* (-12,02‰) ocorre comumente. Existem algumas espécies arbóreas dispersas pelo campo como *Cordia tetrandra* (-29,24‰), *Ficus amazonica* (-29,27‰) e *Sapium curupita* (-26,34‰) ( Figura 36).

A superfície do ponto CA-C, como já relatado, é constituída por uma camada argilosa de 30 cm (provavelmente derivada da sedimentação holocênica de planície de inundação), em contato abrupto com sedimentos arenosos Pós Barreiras. Duas espécies de ervas encontradas neste campo representadas por *Axonopus purpusii* (-14,48‰) e *Paspalum pulchellum* (-12,42‰) apresentam valores isotópicos típicos de plantas C<sub>4</sub>. As ervas abundantes caracterizadas foram: *Cyperus luzulae* (-26,00‰), *Cyperus surinamensis* (-34,28‰), *Panicum laxum* (-27,66‰), *Panicum rudgei* (-27,12‰), todas pertencentes ao ciclo C<sub>3</sub> (Figura 36).

### COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA ( $\delta^{13}\text{C}$ ) DAS ESPÉCIES BOTÂNICAS

#### CAMPOS - VEGETAÇÃO SOBRE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO

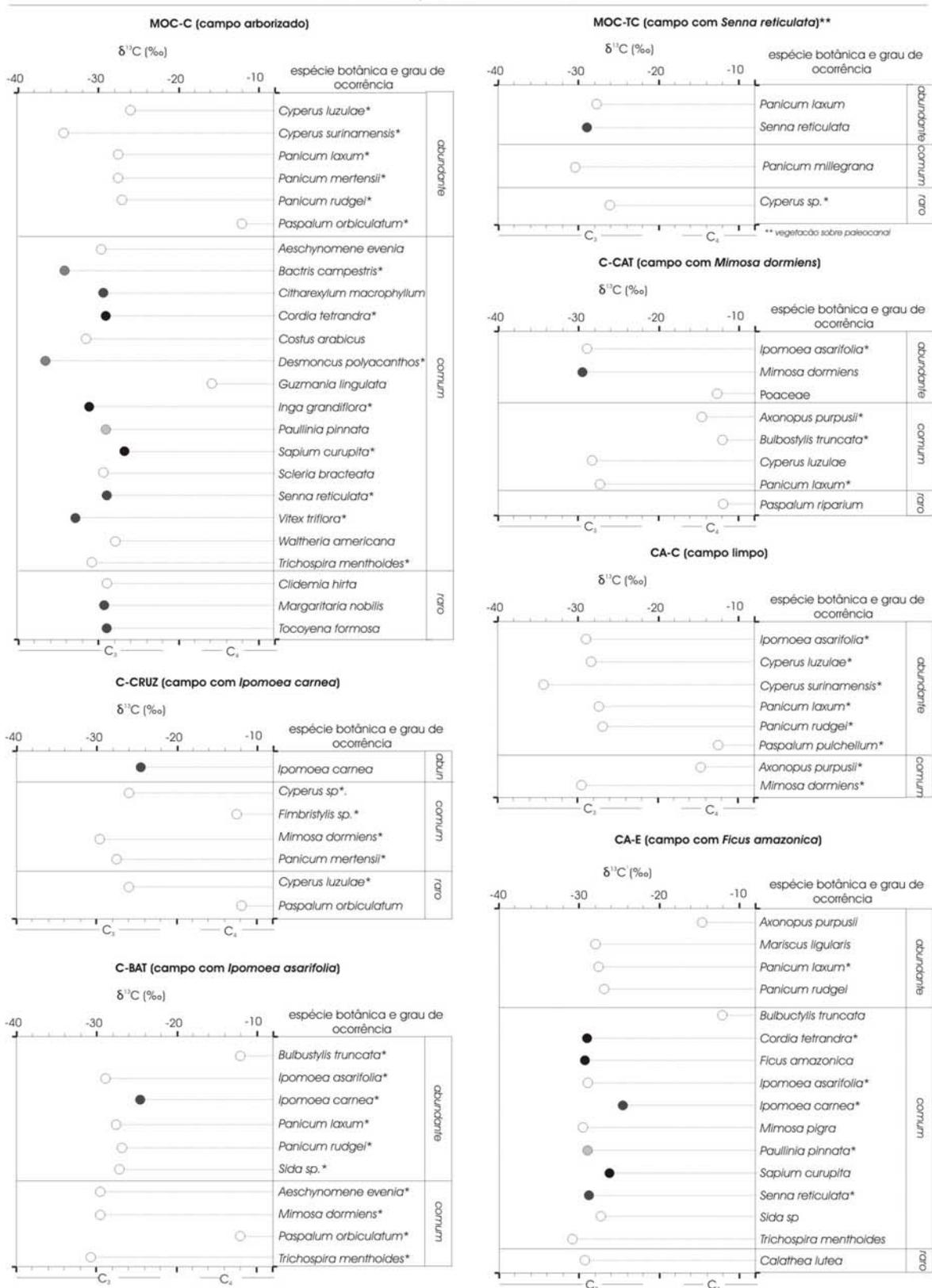


Figura 36 – Composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) das espécies botânicas da vegetação de campos sobre planície de inundação. Observar legenda na Figura 35.

#### 4.6.1.3. Matas sobre Pós Barreiras (setor oeste)

No setor oeste da Ilha de Marajó (PA) nos arredores da cidade de Breves, as matas são representadas neste trabalho por três pontos de amostragem: TU-F, TU-FII e PC-F, todas instaladas em solos desenvolvidos sobre sedimentos Pós Barreiras .

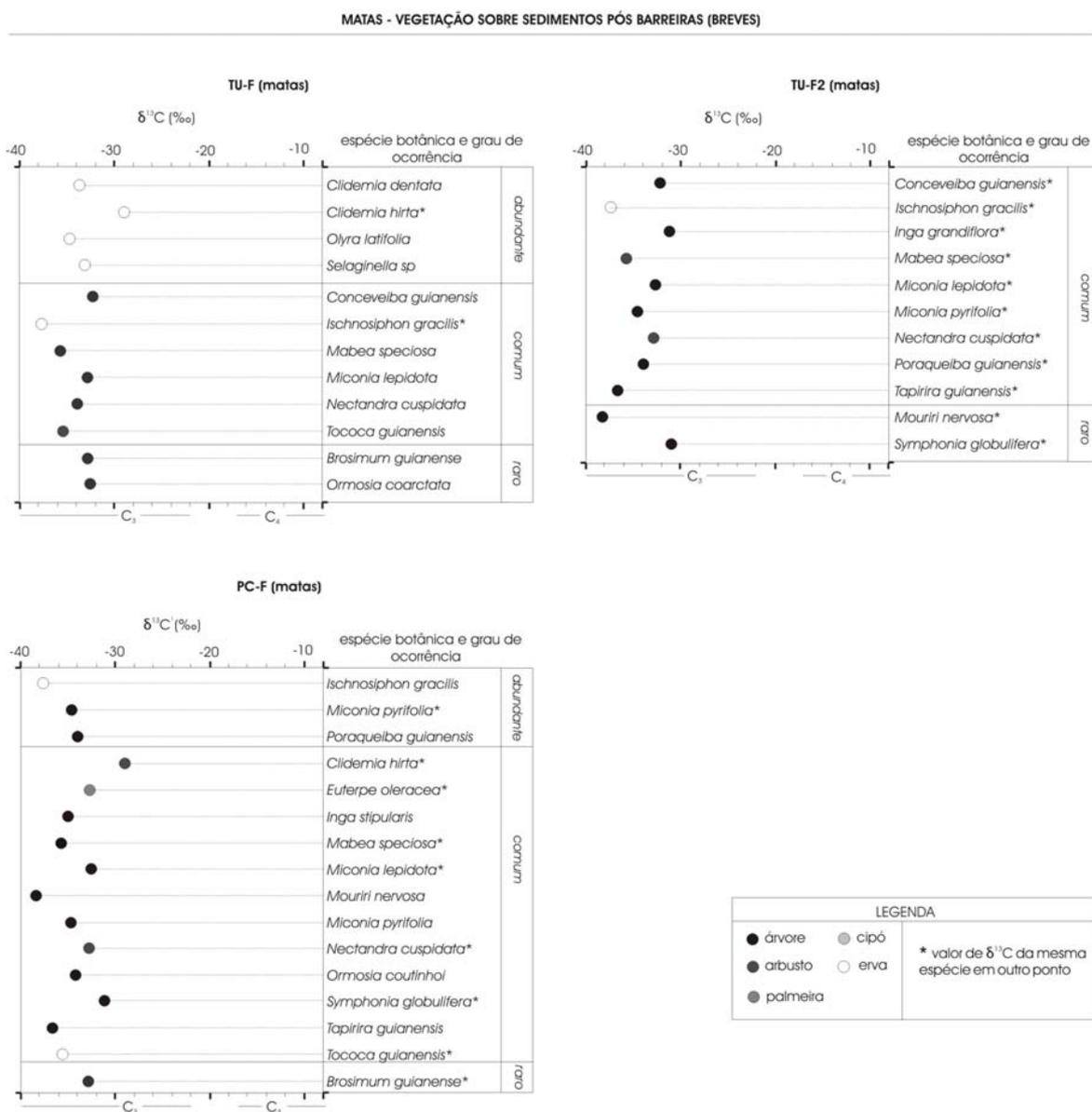
As ervas caracterizadas *Clidemia dentata* (-33,75‰), *Clidemia hirta* (-28,95‰), *Olyra latifolia* (-34,49‰) e *Selaginella sp* (-33,25‰) são abundantes em TU-F. Alguns exemplos de espécies arbóreas comuns deste local são: *Conceveiba guianensis* (-32,25‰), *Mabea speciosa* (-35,80‰), *Miconia lepidota* (-32,70‰) e *Nectandra cuspidata* (-32,89‰). O arbusto *Tococa guianensis* (-35,55‰) também é comum (Figura 37).

No ponto TU-F II entre as espécies arbóreas comuns estão: *Inga grandiflora* (-31,36‰), *Miconia pyrifolia* (-34,48‰), *Poraqueiba guianensis* (-34,06‰) e *Tapirira guianensis* (-36,50‰). Como no ponto anterior também estão presentes *Conceveiba guianensis*, *Mabea speciosa*, *Miconia lepidota* e *Nectandra cuspidata*. *Mouriri nervosa* (-38,34‰) e *Symphonia globulifera* (-30,99‰) ocorrem raramente (Figura 37).

Uma maior diversidade de espécies botânicas foi encontrada no ponto PC-F. A erva caracterizada isotopicamente *Ischnosiphon gracilis* (-37,79‰) é abundante, juntamente com as espécies arbóreas *Miconia pyrifolia* (-34,48‰) e *Poraqueiba guianensis* (-34,06‰). Alguns exemplos de espécies arbóreas comuns caracterizadas isotopicamente são *Inga stipularis* (-35,05‰), *Mouriri nervosa* (-38,34‰), *Ormosia coutinhoi* (-34,13‰) e *Tapirira guianensis* (-36,50‰). A palmeira (estipe) *Euterpe oleracea* (-32,57‰) também é comum (Figura 37).

As espécies botânicas da mata do setor oeste da Ilha apresentam valores isotópicos do carbono mais empobrecidos em relação às espécies botânicas de mata sobre paleocanais do setor leste. Este fato se deve ao maior fracionamento isotópico em vegetação mais densa, pois a mesma utiliza não somente o CO<sub>2</sub> atmosférico (com valores isotópicos de aproximadamente -8‰) para realização da fotossíntese mas também o CO<sub>2</sub> proveniente da decomposição da matéria orgânica do solo (aproximadamente -22‰ em regiões de mata).

### COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA ( $\delta^{13}\text{C}$ ) DAS ESPÉCIES BOTÂNICAS



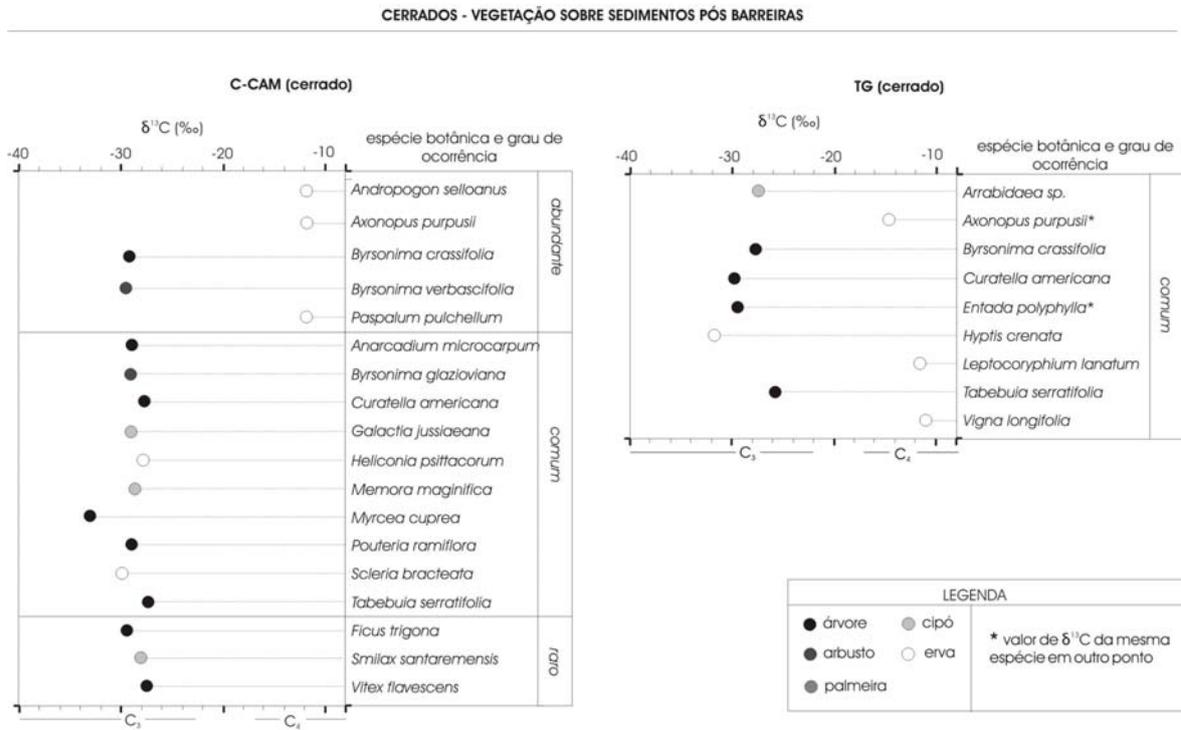
**Figura 37** – Composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) das espécies botânicas da vegetação de matas sobre Pós Barreiras

#### 4.6.1.4.. Cerrados sobre Pós Barreiras

Os cerrados na Ilha de Marajó estão presentes onde o topo da Fm. Barreiras (constituído por nível laterítico) está próximo à superfície. No cerrado *sensu stricto* do extremo leste da área em estudo (C-CAM), 21 espécies foram analisadas. As gramíneas mais abundantes *Andropogon selloanus* (-11,84‰), *Paspalum pulchellum* (-12,42‰) e *Axonopus purpusii* (-11,80‰) apresentam ciclo fotossintético C<sub>4</sub> (Figura 4). As demais espécies, tanto arbóreas como arbustivas e uma espécie de gramínea representada por *Scleria bracteata* (-29,8‰) apresentam o ciclo fotossintético C<sub>3</sub>. Algumas espécies presentes neste campo são: *Byrsonima crassifolia* (-29,18‰), *Anacardium microcarpum* (-28,89‰), *Curatella americana* (-27,78‰), *Myrcia cuprea* (-33,05‰), *Pouteria ramiflora* (-28,89‰) e *Tabebuia serratifolia* (-27,35‰). O arbusto *Byrsonima verbascifolia* (-29,58‰) é abundante (Figura 38).

No ponto TG três espécies comuns de gramíneas C<sub>4</sub> estão presentes: *Axonopus purpusii* (-11,80‰), *Leptocoryphium lanatum* (-11,67‰) e *Vigna longifolia* (-11,07‰). As espécies arbóreas *Byrsonima crassifolia* (-27,77‰), *Curatella americana* (-28,92‰), *Tabebuia serratifolia* (-25,87‰) são comuns. Também ocorrem cipós *Entada polyphylla* (-29,54‰) e *Arrabidaea sp.* (-27,62‰) (Figura 38).

COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA ( $\delta^{13}\text{C}$ ) DAS ESPÉCIES BOTÂNICAS



**Figura 38** – Composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) das espécies botânicas da vegetação de cerrados sobre Pós Barreiras

Cabe ressaltar a importância da caracterização isotópica, não somente de espécies arbóreas, mas principalmente de gramíneas, pois dependendo das condições hídricas do ambiente de crescimento, pode haver o domínio de espécies de gramíneas que realizam o ciclo  $C_3$  (mais adaptadas a ambientes úmidos) ou de espécies de gramíneas do ciclo  $C_4$  (mais adaptadas a ambientes secos). Já as espécies arbóreas (sempre de ambientes úmidos), apresentam valores de  $\delta^{13}C$  da massa foliar empobrecidos no isótopo de  $^{13}C$  (como pode ser observado na Fig. 4), sendo indicativos de realização do ciclo  $C_3$  no processo de fotossíntese, ou seja, apresentam maior fracionamento isotópico (discriminação de  $^{13}C$ ) durante este processo, resultando em valores mais negativos de  $\delta^{13}C$ .

Nas proximidades da floresta densa da parte oeste da Ilha de Marajó (pontos MOC-F, C-CER, MOC-TF e MOC-TC), todas as amostras analisadas pertencem ao ciclo  $C_3$  (inclusive as gramíneas). O mesmo ocorre nos arredores da cidade de Breves, onde os valores isotópicos das espécies botânicas analisadas indicam a associação com o ciclo  $C_3$  pelas mesmas, porém estas apresentam valores mais negativos que as espécies do setor leste da Ilha. Em direção aos campos abertos, há um aumento gradativo do número de espécies de gramíneas de ciclo  $C_4$ , principalmente nos cerrados *sensu stricto*.

#### 4.6.2. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica superficial e sua relação com a vegetação atual

As diferentes espécies com diferentes ciclos fotossintéticos e conseqüentemente apresentando diferentes valores de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  em sua constituição, estão constantemente fornecendo matéria orgânica para o solo e para os sedimentos da planície de inundação e paleocanais. Portanto, o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria orgânica da camada superficial do solo reflete o ciclo fotossintético dominante na vegetação de cobertura (Tabela 11), ou seja, de plantas  $\text{C}_3$  (no caso da Ilha de Marajó com valores de -28,99‰ a -23,90‰) ou mistura de plantas  $\text{C}_3$  e plantas  $\text{C}_4$  (-22,21‰ a -17,31‰). Assim como os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  a maiores profundidades de um perfil de solo podem indicar possíveis mudanças (trocas vegetacionais) durante o tempo geológico, com relação a vegetação atual. Observar que nos cerrados C-CAM e TG os resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  da MOS (0-10 cm) atingiram os maiores valores (-18,26‰ e -17,31‰, respectivamente).

**Tabela 11** – Pontos de amostragem, tipo de vegetação e valores isotópicos do carbono da MOS superficial

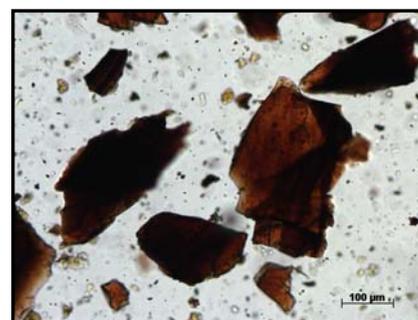
Paleocanais		
Pontos	vegetação	$\delta^{13}\text{C}$ (MOS) 0-10 cm
MOC-F	mata (ciclo $\text{C}_3$ )	-28,08
MOC-TF	mata (ciclo $\text{C}_3$ )	-24,57
CA-IM	mata (ciclo $\text{C}_3$ )	-26,66
CA-F	mata (ciclo $\text{C}_3$ )	-26,64
Planície de inundação		
Pontos	vegetação	$\delta^{13}\text{C}$ (MOS) 0-10 cm
MOC-C	campo (ciclos $\text{C}_3$ e $\text{C}_4$ )	-21,72
MOC-TC	campo (ciclo $\text{C}_3$ )	-23,90
C-CAT	campo (ciclos $\text{C}_3$ e $\text{C}_4$ )	-19,18
C-BAT	campo (ciclos $\text{C}_3$ e $\text{C}_4$ )	-22,21
C-CRUZ	campo (ciclos $\text{C}_3$ e $\text{C}_4$ )	-20,33
CA-E	campo (ciclos $\text{C}_3$ e $\text{C}_4$ )	-18,47
CA-C	campo (ciclos $\text{C}_3$ e $\text{C}_4$ )	-18,72
Pós Barreiras		
Pontos	vegetação	$\delta^{13}\text{C}$ (MOS) 0-10 cm
C-CAM	cerrado (ciclos $\text{C}_3$ e $\text{C}_4$ )	-18,26
TU-F	mata (ciclo $\text{C}_3$ )	-28,62
TU-F II	mata (ciclo $\text{C}_3$ )	-28,35
PC-F	mata (ciclo $\text{C}_3$ )	-28,99
TG	cerrado (ciclos $\text{C}_3$ e $\text{C}_4$ )	-17,31

#### 4.6.3. $\delta^{13}\text{C}$ dos fragmentos vegetais encontrados nos sedimentos

Fragmentos vegetais, por vezes carbonizados, preservados em maiores profundidades nos perfis de estudo analisados são freqüentes no setor leste da Ilha de Marajó. Dois perfis localizados em sedimentos de paleocanal (MOC-F e MOC-TF) e um perfil na planície de inundação (C-CRUZ) foram selecionados, sendo posteriormente os fragmentos concentrados através de peneiramento (a úmido) na malha de 0,149 mm.

Todos os resultados isotópicos do carbono (Figura 39) são correspondentes a plantas que realizam o ciclo fotossintético  $\text{C}_3$ , sendo o maior valor registrado no intervalo de 180-190 cm do ponto C-CRUZ (-25,52‰) e o menor valor na mesma profundidade do ponto MOC-TF (-28,54‰).

Fragmentos vegetais - Paleocanais		
MOC-F	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
250-260	14,46	-26,64
260-270	11,75	-26,65
270-280	14,16	-26,93
280-290	19,43	-26,66
290-300	20,85	-26,80
MOC-TF	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
180-190	3,39	-28,54
210-220	17,38	-27,69
220-230	15,89	-27,21
230-240	21,70	-27,06
240-250	20,69	-27,39
250-260	9,85	-27,03
260-270	7,76	-27,25
270-280	7,62	-27,25
280-290	8,70	-27,88
290-300	5,17	-27,01
300-310	17,32	-27,05
310-320	13,53	-26,84
320-330	14,25	-27,05
Fragmentos vegetais - Planície de inundação		
C-CRUZ	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
180-190	23,60	-25,52



**Figura 39** - Carbono orgânico total e  $\delta^{13}\text{C}$  de fragmentos vegetais concentrados em peneiramento encontrados nos sedimentos de paleocanais e planície de inundação.

#### 4.6.4. CARACTERIZAÇÃO ISOTÓPICA DO CARBONO DA MATÉRIA ORGÂNICA DE SEDIMENTOS E SOLOS

A Figura 40 mostra os resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria orgânica de solos/sedimentos nos dezesseis perfis estudados. Os resultados foram divididos em dois gráficos de acordo com o comportamento dos valores isotópicos do carbono através do perfil. Os valores também encontram-se em tabelas no Apêndice D

Todos os perfis analisados mostram nitidamente valores isotópicos da matéria orgânica superficial (0-10 cm) que refletem a vegetação de cobertura atual como demonstrado no item 4.6.2.

No gráfico com os resultados dos materiais argilosos sob os campos, um perfil (C-BAT) se destaca devido ao enriquecimento isotópico significativo de 9,4‰ registrado na base (valor correspondente à -26,13‰ no intervalo de 350-360 cm, em aproximadamente 5.500 anos AP, para o valor de -16,73‰ em 280-290 cm (ao redor de 5.000 anos AP). A partir desta profundidade até o intervalo de 210-220 cm ocorre o inverso (um empobrecimento de 10,4‰), atingindo o valor de -27,13‰. Em direção ao topo do perfil (a partir de 4.900 anos AP correspondente ao intervalo de 170-180 cm) novamente ocorre um enriquecimento, menos significativo do que o registrado na base, atingindo o valor de -21,83‰ em 20-30 cm (Figura 41 B).

Os outros perfis (MOC-C, C-CRUZ, C-CAT, C-AE, C-CAM e TG) apresentam tendências semelhantes entre si em relação aos valores isotópicos do carbono da matéria orgânica ao longo do perfil.

O ponto MOC-C apresenta enriquecimento isotópico em direção ao topo do perfil, com valores variando de -27,68‰ na profundidade de 330-340 cm à -20,20‰ no intervalo de 20-30 cm. Há um pico mais enriquecido em 210-220 cm (-23,33‰). Na superfície (0-10 cm) o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  corresponde a -21,72‰.

Na base do perfil C-CRUZ (intervalo de 300-310 cm a 170-180 cm) os valores variaram de -24,9‰ a -25,6‰, respectivamente, com dois picos mais enriquecidos registrados em 200-210 cm (-24,5‰) e em 240-250 cm (-24,3‰). A partir do intervalo de 170-180 cm há um gradual aumento dos valores isotópicos, atingindo -18,8‰ em 30-40 cm. Nesta profundidade até a superfície a

matéria orgânica tende novamente a um empobrecimento em  $^{13}\text{C}$ , atingindo valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-20,3\%$  em 0-10 cm.

A matéria orgânica do perfil C-CAT apresenta um enriquecimento de  $^{13}\text{C}$  em direção à superfície, com valor de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-23,5\%$  em 200-210 cm e  $-19,2\%$  no intervalo de 0-10 cm.

No ponto C-AE, o intervalo inferior correspondente à 260-270 cm possui valor de  $-23,21\%$  que grada para  $-21,57\%$  em 230-240 cm. No intervalo seguinte (220-230 cm) há uma diminuição abrupta para  $-25,34\%$ . A partir desta profundidade predomina a tendência de enriquecimento isotópico em direção ao topo do perfil atingindo o valor de  $-18,47\%$  na superfície.

O ponto C-CAM apresentou valores isotópicos de  $-21,5\%$  na profundidade de 130-140 cm, gradativamente tornando mais enriquecidos em direção à superfície, onde atinge o valor de  $-18,2\%$ .

Os valores isotópicos na base do perfil TG variam entre  $-26\%$  e  $27\%$  até a profundidade de 180-190 cm. A partir desta profundidade os valores tornam-se gradativamente mais enriquecidos atingindo o maior valor de  $\delta^{13}\text{C}$  no intervalo de 20-30 cm ( $-15,94\%$ ). Na superfície o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  é de  $-17,31\%$ .

No gráfico que representa os perfis constituídos por materiais arenosos e silte arenosos, os pontos que apresentam atualmente vegetação de cobertura essencialmente arbórea no setor sudoeste da Ilha de Marajó (pontos TU-F, TU-FII e PC-F) não apresentaram mudanças significativas dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ao longo do perfil, com valores variando entre  $-24\%$  a  $-28\%$ . Mesmo apresentando pouca variação, os valores mais enriquecidos estão concentrados na porção mediana dos perfis, entre aproximadamente 7.000 anos AP e 4.000 anos AP como observado no ponto TU-F (Figura 42 B). Já no setor leste da Ilha ocorrem mudanças significativas dos valores isotópicos ao longo dos perfis.

O ponto MOC-F apresentou valores isotópicos que variaram de  $-25,8\%$  (em 300-310 cm) a  $-26,8\%$  (em 210-220 cm), com dois picos de valores mais enriquecidos em 260-270 cm ( $-22,1\%$ ) e em 290-300 cm ( $-20,4\%$ ), o último correspondente a idade de  $16.118 \pm 60$  anos AP (Figura 41 A). A partir de 210-220 cm a 30-40 cm (aproximadamente 10.000 a 3.000 anos AP) os

valores se concentraram entre -26,8‰ à -24,1‰, com um pico mais empobrecido entre 150-170 cm (-27,6‰). Os valores superficiais variaram de -24,1‰ (30-40 cm) a -28,1‰ (0-10 cm).

No ponto MOC-TF, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  variaram de -23,3‰ em 320-330 cm à -27,2‰ no intervalo de 220-230 cm. A partir deste intervalo a matéria orgânica torna-se gradativamente mais enriquecida em  $^{13}\text{C}$ , atingindo o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  de -18,5‰ em 60-70 cm. Deste intervalo até a superfície a matéria orgânica analisada mostra um empobrecimento em  $^{13}\text{C}$ , atingindo o valor de -24,6‰ em 0-10 cm.

O ponto MOC-TC apresentou valores que variaram de -23,4‰ (200-210 cm) à -19,7‰ (90-100 cm). A partir desta profundidade os valores mostram uma tendência inversa, atingindo -24,0‰ na superfície (0-10 cm).

A base do perfil CA-IM (350-360 cm) apresentou o valor de -26,05‰, este decrescendo gradativamente até a profundidade de 310-320 cm onde atinge -29,40‰. A partir desta profundidade até o intervalo de 80-90 cm ocorre um enriquecimento isotópico da matéria orgânica sendo que nesta profundidade o valor é de -21,05‰. Entre 70-80 cm até 30-40 cm não há variações significativas e os valores se concentram ao redor de -21‰. Em direção a superfície os valores tornam-se mais negativos, atingindo -26,66‰ em 0-10 cm.

O perfil do ponto CA-C possui a matéria orgânica mais enriquecida em  $^{13}\text{C}$  dos pontos de estudo analisados na Ilha de Marajó. Sua base (200-210 cm) possui valor de -19,86‰ que varia para -14,94‰ na profundidade de 50-60 cm. A partir deste intervalo ocorre um empobrecimento, atingindo o valor de -18,72‰ na superfície (0-10 cm). Portanto a vegetação de campo neste local está presente desde aproximadamente 5.700 anos AP (datação inferida através da análise do ponto CA-F, próximo a este local).

O ponto CA-F apresenta valores isotópicos em sua base (de 230 a 320 cm, entre  $6.330 \pm 110$  anos AP e  $5.730 \pm 80$  anos AP) entre -26‰ e -27‰. A partir desta profundidade os valores aumentam gradativamente atingindo -18,81‰ em 50-60 cm (aproximadamente 2.500 anos AP). Em direção a superfície ocorre um empobrecimento, atingindo valor de -26,64‰ em 0-10 cm (Figura 42 A).

Retornando aos gráficos da figura 40, onde a visualização da tendência de enriquecimento ou empobrecimento isotópico (valores de  $\delta^{13}\text{C}$ ) da matéria orgânica através dos perfis torna-se mais nítida, é possível observar que em maiores profundidades os valores concentram-se no domínio de plantas  $\text{C}_3$  (incluindo os pontos que atualmente são ocupados por campos com mistura de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ ), com exceção dos pontos MOC-F e C-BAT que apresentaram valores isotópicos enriquecidos.

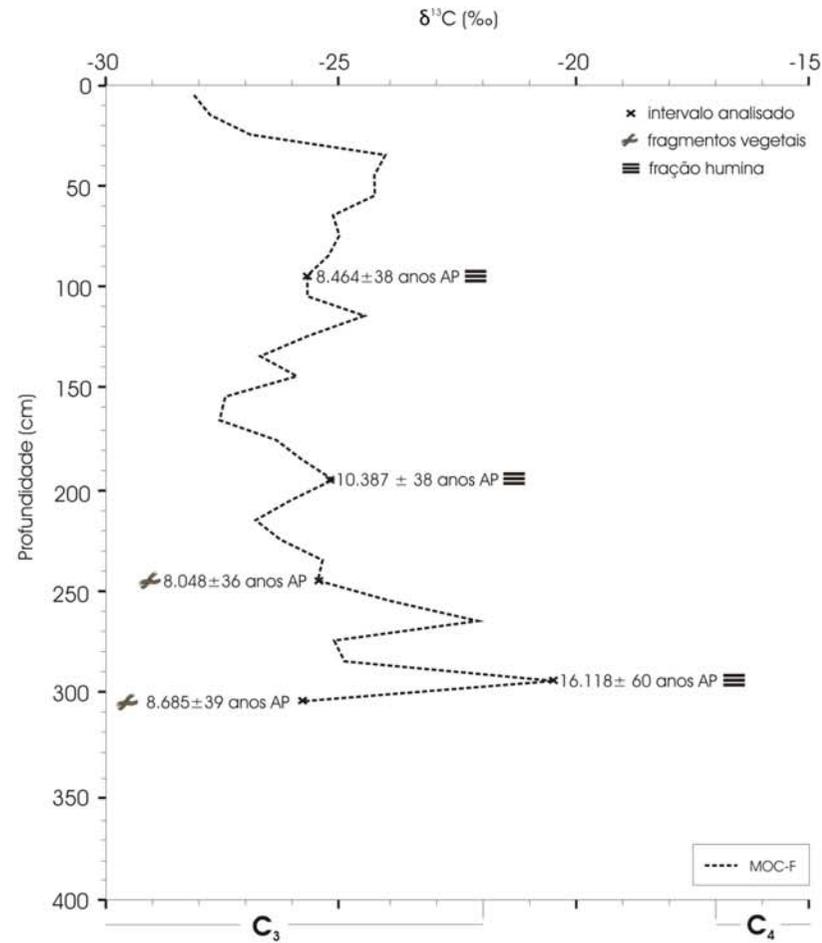
No intervalo médio de todos os perfis, em direção à superfície, há um gradual enriquecimento de  $^{13}\text{C}$  na constituição da matéria orgânica, como demonstrado pelos valores mais positivos de  $\delta^{13}\text{C}$ , onde quase todos os perfis (exceto MOC-F, TU-F, TU-FII e PC, sob matas) atingem o domínio do gráfico onde os valores representam uma origem de mistura entre plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ .

A porção superficial dos perfis (exceto C-CAT, C-CRUZ e C-CAM) apresenta uma tendência inversa, mostrando um empobrecimento isotópico da matéria orgânica em direção à superfície atingindo, no intervalo de 0-10 cm, valores de origem de plantas  $\text{C}_3$  (pontos sob matas e no ponto MOC-TC representado por gramíneas  $\text{C}_3$ ) e valores de origem de mistura entre plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  nos pontos sob outros campos.

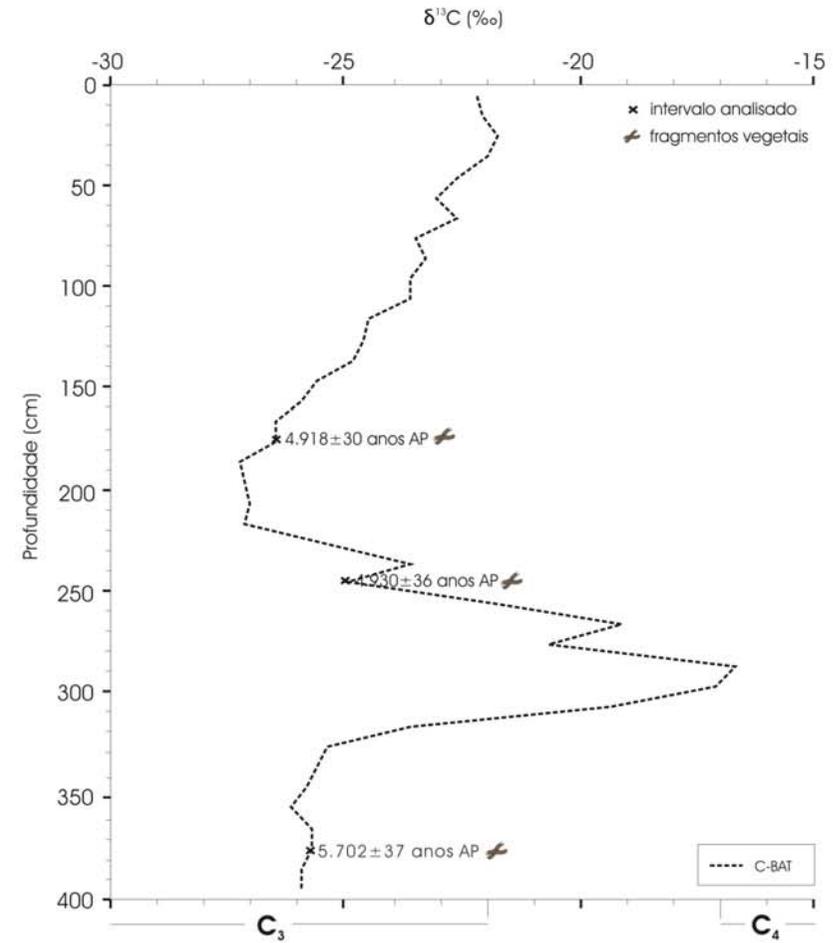
Portanto a vegetação na Ilha de Marajó, principalmente em seu setor leste não permaneceu estável durante os últimos milhares de anos como demonstrado pela variação isotópica do carbono da matéria orgânica nos perfis em relação a composição MOS atual (0-10 cm) .



A.)

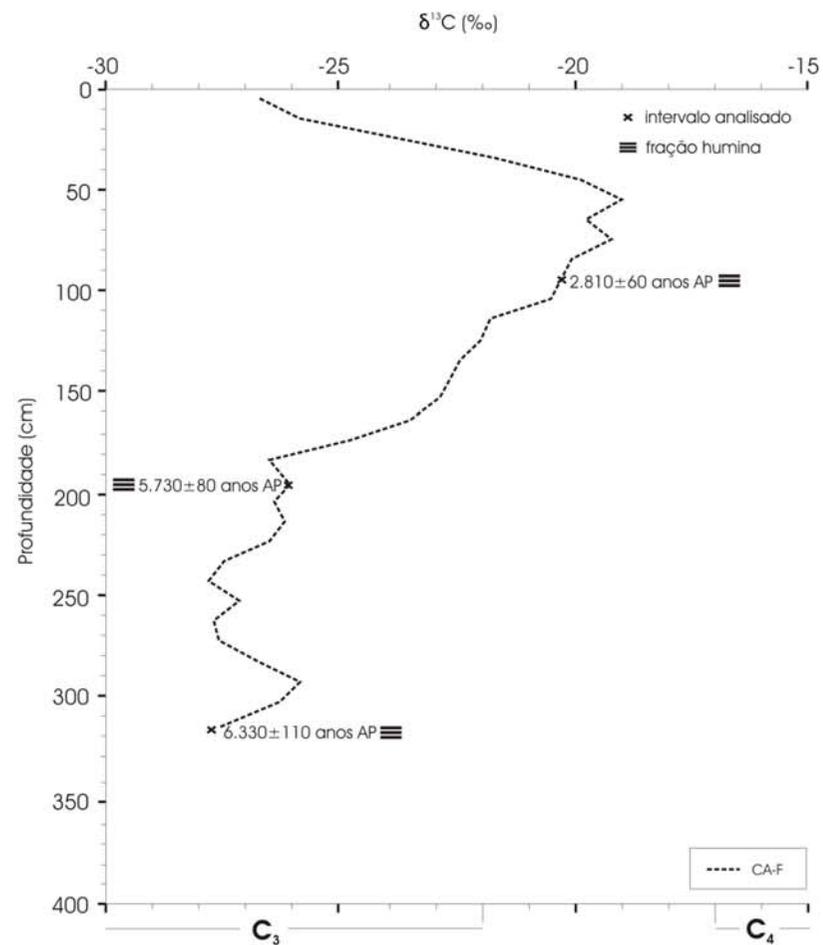


B.)



**Figura 41** - Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  nos perfis MOC-F (paleocanal) e C-BAT (planície de inundação) com a cronologia determinada através de datação  $^{14}\text{C}$  de fragmentos vegetais e fração humina.

A.)



B.)

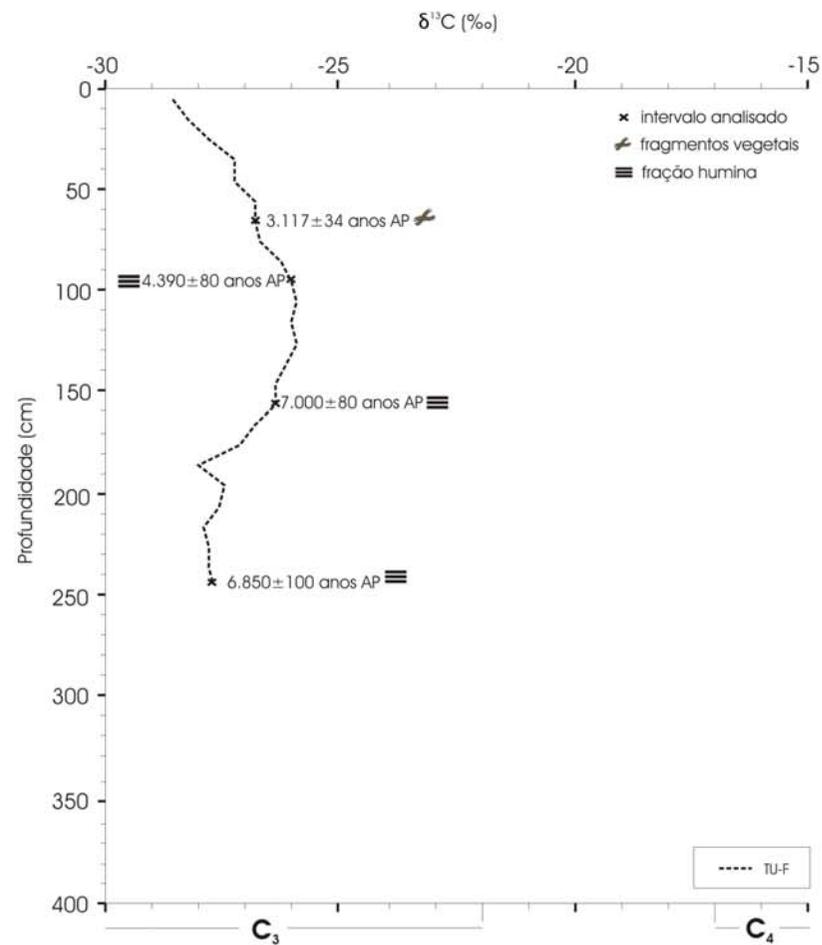


Figura 42 - Valores de δ<sup>13</sup>C nos perfis CA-F e TU-F com a cronologia determinada através de datação <sup>14</sup>C de fragmentos vegetais e fração humina.

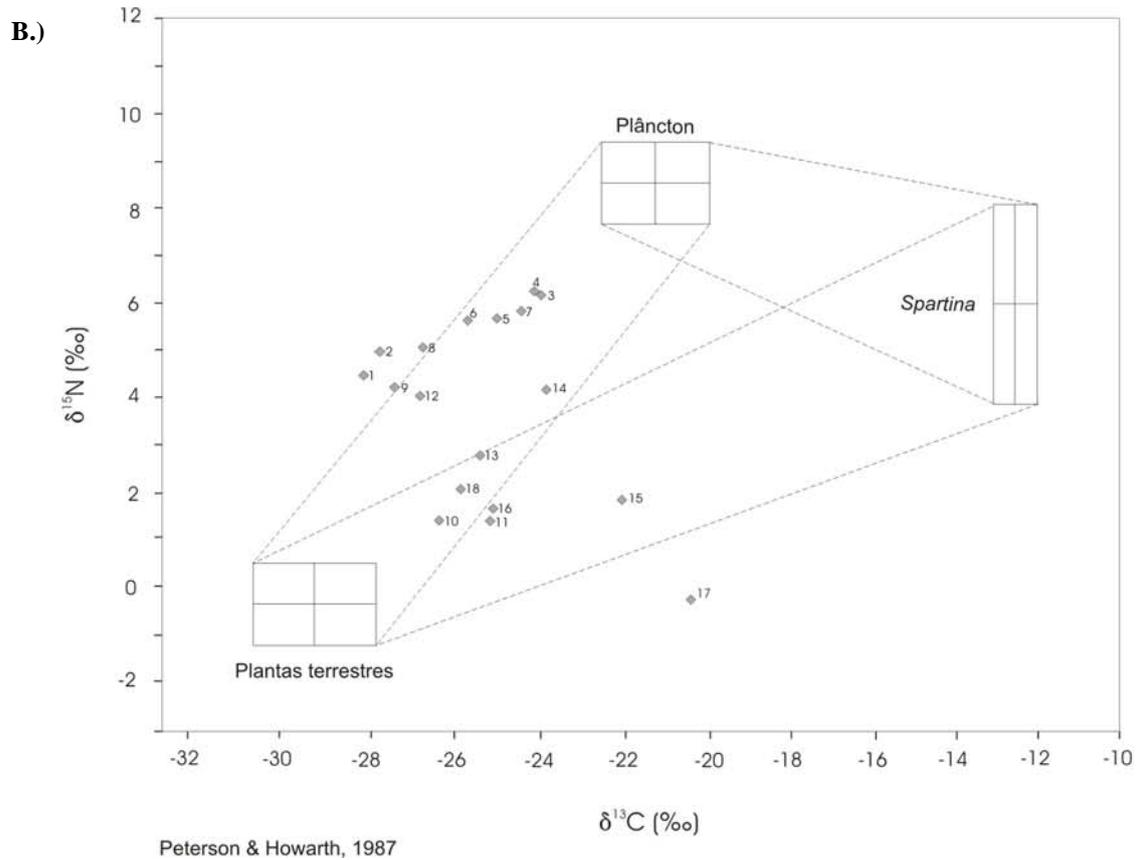
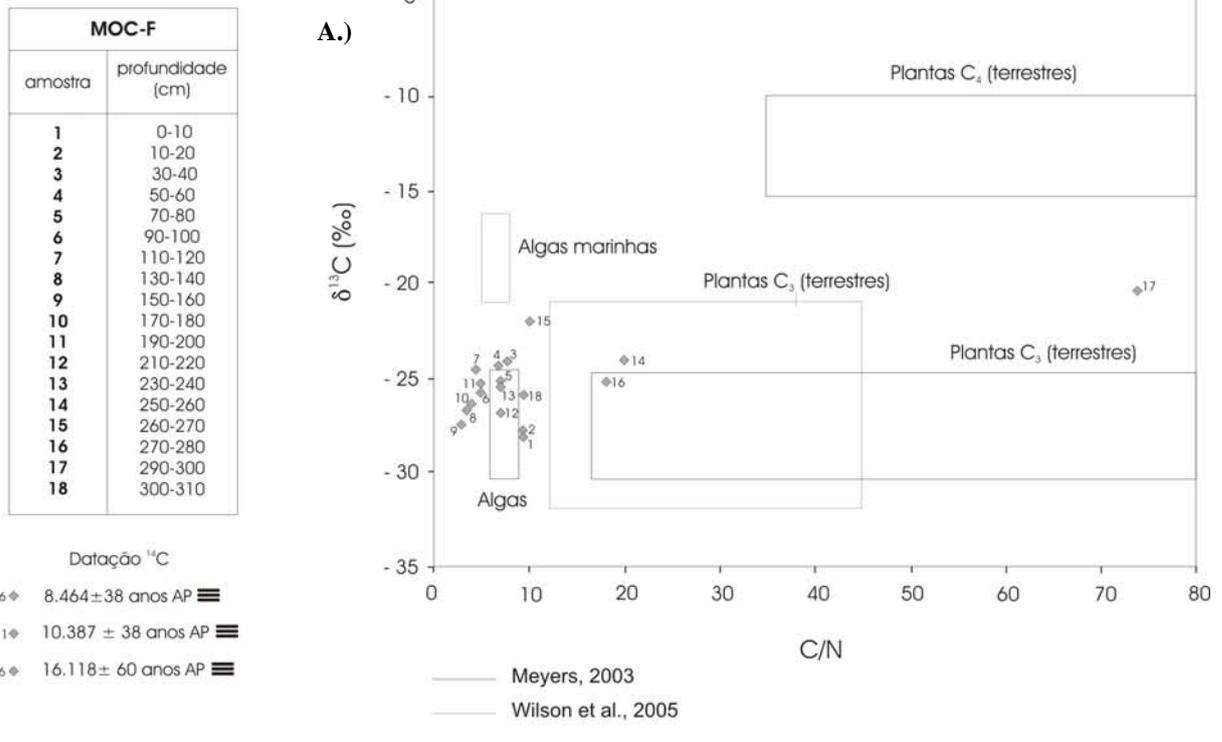
## 4.7. DADOS ISOTÓPICOS DO NITROGÊNIO

### 4.7.1. Caracterização isotópica do nitrogênio da matéria orgânica de sedimentos

Os sedimentos analisados nos pontos MOC-F, C-BAT e C-AE de um modo geral apresentaram baixos teores de carbono através do perfil (Apêndice D). Trabalhos bibliográficos (MEYERS, 2003) sugerem que teores menores que 0,3 % de carbono podem ocasionar erros de interpretação da origem da matéria orgânica através da análise de C/N de sedimentos. Este tópico tem por objetivo discutir os dados de nitrogênio obtidos nestes três perfis da Ilha de Marajó, estes sendo plotados em modelos (razão C/N x  $\delta^{13}\text{C}$ ) propostos por Meyers (2003) (plantas  $\text{C}_3$ ,  $\text{C}_4$  e algas de água doce) e Wilson et al. (2005) (plantas  $\text{C}_3$  e algas marinhas). Estes dados serão comparados com o modelo ( $\delta^{15}\text{N}$  x  $\delta^{13}\text{C}$ ) proposto por Peterson e Howarth (1987), incluindo plantas terrestres ( $\text{C}_3$ ), plâncton de ambiente estuarino e *Spartina* (gramínea  $\text{C}_4$ , desenvolvida em regiões de mangue e estuário).

A maioria dos intervalos analisados no perfil do ponto MOC-F (paleocanal) apresentou valores da razão C/N baixos (entre 3 e 10) com exceção das amostras dos intervalos de 250-260 cm, 270-280 cm e 290-300 cm (correspondendo as amostras 14, 16 e 17 da Figura 43 A, respectivamente), com valores de 20, 18 e 74. Por estes dados juntamente com a composição isotópica do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ), segundo o modelo, a maior parte da matéria orgânica deste perfil provém de algas de água doce (Figura 43 A), exceto os pontos 16 e 14 (entre ~15.000 a ~13.000 anos AP) que mostram uma matéria orgânica derivada de plantas terrestres  $\text{C}_3$ ) e o ponto 17 (em  $16.118 \pm 60$  anos AP, com matéria orgânica derivada da mistura entre plantas terrestres  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ ).

No modelo da razão de  $\delta^{15}\text{N}$  x  $\delta^{13}\text{C}$  (Figura 43 B), os valores mostram que a matéria orgânica deste perfil é derivada predominantemente de uma mistura de fontes, de plantas terrestres  $\text{C}_3$  e plâncton. Os valores mais enriquecidos em  $\delta^{13}\text{C}$  (pontos 17 e 15), provavelmente também apresentam uma influência de gramíneas  $\text{C}_4$  na constituição da matéria orgânica, com valores de  $\delta^{15}\text{N}$  empobrecidos (1,62‰ e -0,28‰ respectivamente).



**Figura 43** - Modelos sobre a fonte da matéria orgânica de sedimentos envolvendo a razão C/N x  $\delta^{13}\text{C}$  (Meyers, 2003 e Wilson et al., 2005) e  $\delta^{13}\text{C}$  x  $\delta^{15}\text{N}$  (Peterson & Howarth, 1987) com os valores obtidos no ponto MOC-F (paleocanal).

Portanto através da análise destes dois modelos, se observa que sem dúvida houve contribuição de algas na formação da matéria orgânica deste sedimento, porém esta não foi a única fonte na maioria do perfil como interpretado somente com os dados da razão C/N x  $\delta^{13}\text{C}$ . No modelo envolvendo  $\delta^{15}\text{N}$  x  $\delta^{13}\text{C}$  é possível observar que a maior contribuição de plâncton na matéria orgânica é registrada entre 120 a 30 cm (pontos 7 a 3, entre ~9.000 a 4.000 anos AP) e a menor contribuição na base do perfil entre 310 a 170 cm (pontos 18 a 10, entre ~16.000 a 10.000 anos AP), mas com valores que sempre indicam uma mistura de fontes (Figura 43 B).

No ponto C-BAT (planície de inundação) a razão C/N variou de 2,9 a 19,8, com exceção da amostra 10 (180-190 cm, correspondente a ~4.900 anos AP) que apresentou valor de 54,7. A influência algálica na matéria orgânica no perfil é bastante significativa, porém entre as profundidades de 390 cm a 340 cm (pontos 20, 19 e 18) e 230 cm a 160 cm (pontos 12, 11, 10 e 9) os valores no modelo indicam uma matéria orgânica derivada de plantas terrestres C<sub>3</sub>. Entre 310 cm a 260 cm (pontos 16, 15 e 14 da Figura 44 A, entre ~5.000 anos AP a ~4.900 anos AP) os valores ficam próximo ao domínio de algas marinhas. Na superfície até 130 cm (pontos 1 a 7) os valores ficam entre os domínios de algas de água doce a e algas marinhas.

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  mais enriquecidos do perfil referentes aos pontos 14, 15 e 16, no segundo modelo ( $\delta^{15}\text{N}$  x  $\delta^{13}\text{C}$ ), Figura 44 B, assim como no primeiro, indicam uma maior influência de matéria orgânica de origem marinha neste intervalo. No intervalo de 280-290 cm (ponto 15) estão os mais enriquecidos valores do perfil, tanto de  $\delta^{13}\text{C}$  (-16,73 ‰) como de  $\delta^{15}\text{N}$  (6,46 ‰). Deste modo é possível afirmar que a variação brusca dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria orgânica neste intervalo do perfil de C-BAT é devido não de uma influência de plantas terrestres C<sub>4</sub>, mas sim de uma matéria orgânica de origem marinha. A cronologia deste período foi de aproximadamente 5.000 anos AP.

Os pontos que apresentaram valores característicos de uma matéria orgânica derivada de plantas C<sub>3</sub> no primeiro modelo representado na Figura 44 A (pontos 20 a 18 e 12 a 9), no segundo modelo (Figura 44 B) mostra além da maior influência de matéria orgânica derivada destas plantas (valores mais empobrecidos de  $\delta^{15}\text{N}$ ), também uma influência de plâncton.

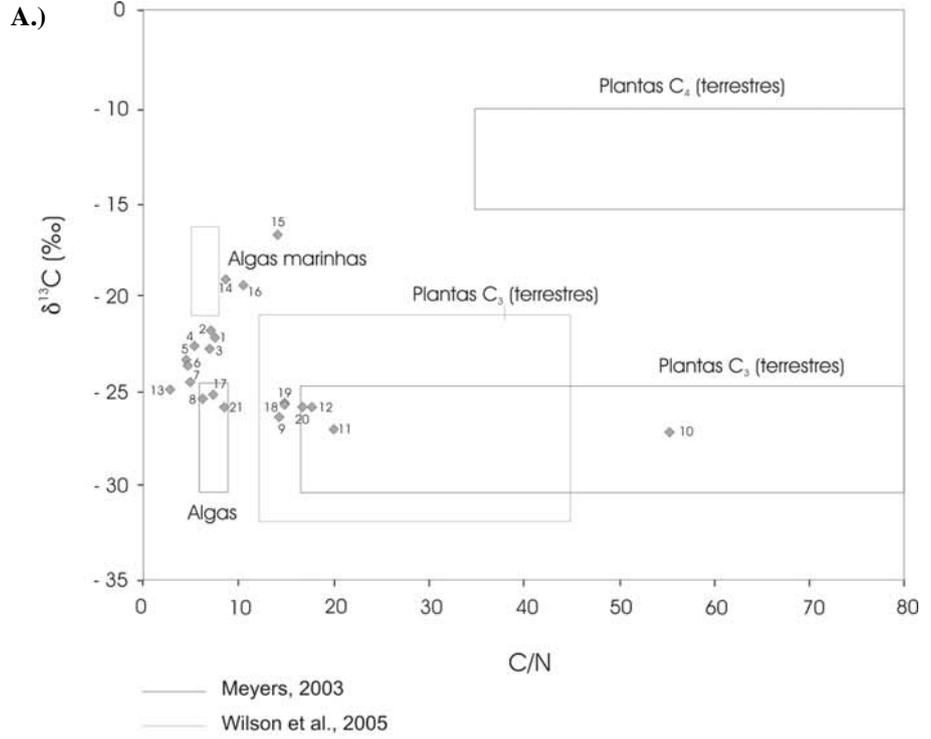
No intervalo de 150 cm até a superfície (amostras 8 a 1), os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  tornam-se gradativamente mais enriquecidos e os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  mais empobrecidos (indicando uma maior

contribuição de plantas terrestres na constituição da matéria orgânica). Deste modo podemos inferir para este período um ambiente mais seco que possibilitou a instalação de gramíneas  $C_4$  nesta região, provavelmente a partir de 4.000 anos AP.

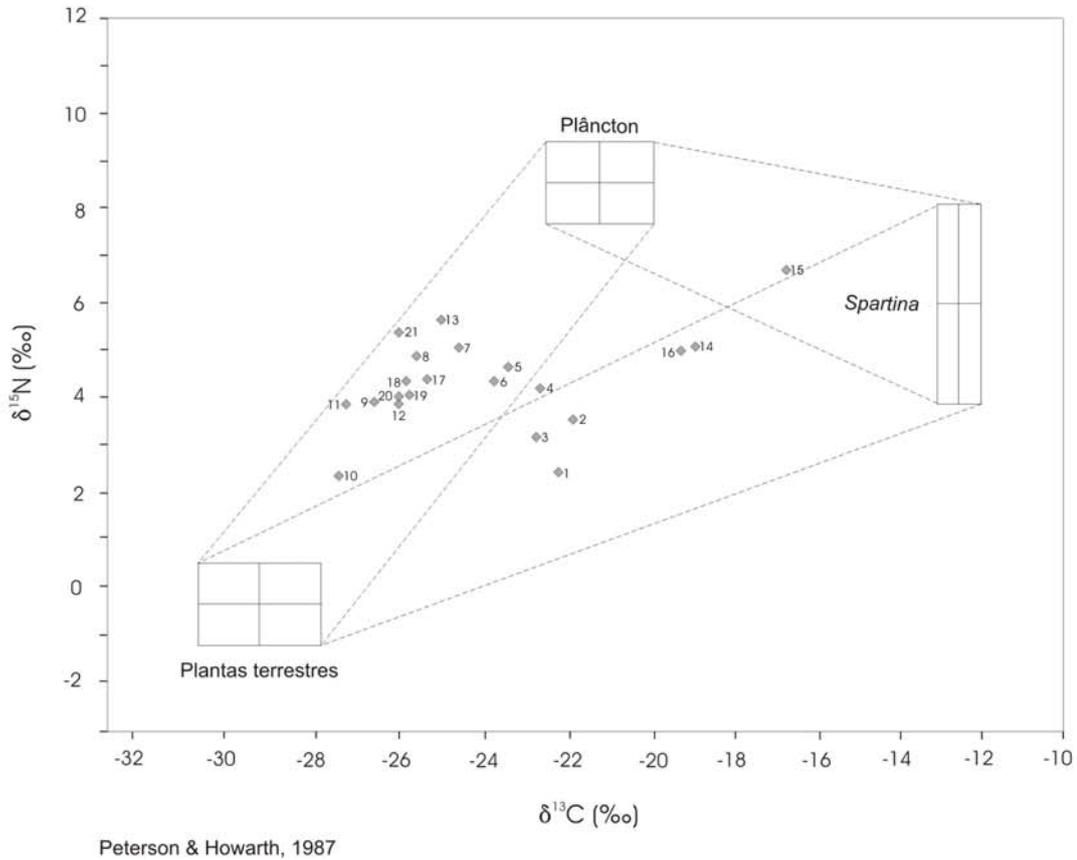
Resumindo os dados deste perfil, temos na base (amostras 21 a 17) uma matéria orgânica derivada de plantas  $C_3$  e algas. Nos pontos 14 a 16 há registro de influência marinha. Nos pontos 13 a 9 novamente uma mistura de plantas  $C_3$  e algas e na superfície (amostras 8 a 1) menor influência de algas com aumento da influência de plantas terrestres  $C_3$  e  $C_4$ .

C-BAT	
amostra	profundidade (cm)
1	0-10
2	20-30
3	40-50
4	60-70
5	80-90
6	100-110
7	120-130
8	140-150
9	160-170
10	180-190
11	200-210
12	220-230
13	240-250
14	260-270
15	280-290
16	300-310
17	320-330
18	340-350
19	360-370
20	380-390
21	390-400

Datação <sup>14</sup>C  
 13♦ 4.930 ± 36 anos AP



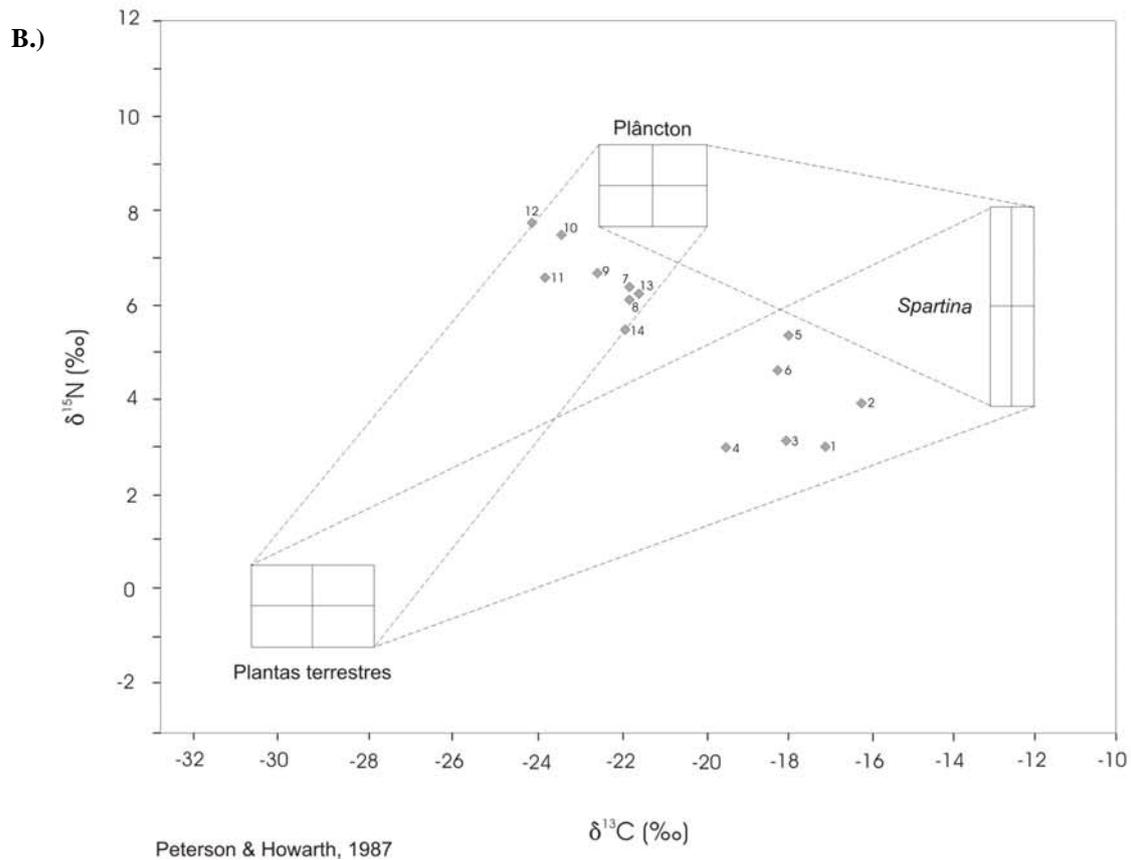
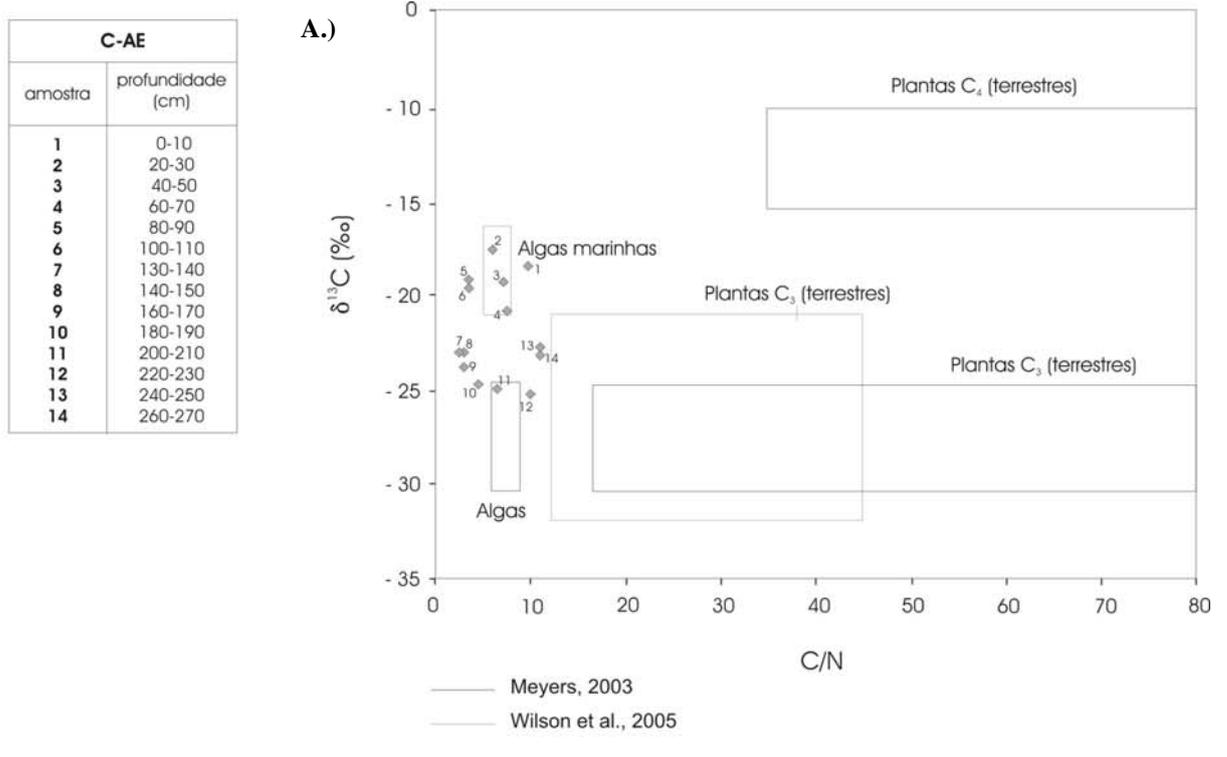
B.)



**Figura 44** - Modelos sobre a fonte da matéria orgânica de sedimentos envolvendo a razão C/N x  $\delta^{13}\text{C}$  (Meyers, 2003 e Wilson et al., 2005) e  $\delta^{13}\text{C}$  x  $\delta^{15}\text{N}$  (Peterson & Howarth, 1987) com os valores obtidos no ponto C-BAT (planície de inundação).

O último ponto analisado (C-AE) encontra-se na planície de inundação, nas proximidades do Lago Arari. A razão C/N através do perfil variou de 2,5 a 11. Estes valores juntamente com os dados de  $\delta^{13}\text{C}$ , indicam de acordo com o modelo (Figura 45 A), que a matéria orgânica nestes sedimentos é derivada de algas, tanto de água doce como marinha ou mistura de ambas. Cabe ressaltar que o ponto superficial de 0-10 cm (ponto 1), onde atualmente existe um campo pouco arborizado, com gramíneas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ , os valores da razão C/N x  $\delta^{13}\text{C}$  mostram uma proximidade do domínio de algas marinhas como fonte da matéria orgânica, neste caso mostrando uma contradição.

O segundo modelo (Figura 45 B) também mostra uma influência algálica dominante, mas esta não é a única fonte da constituição da matéria orgânica. A base do perfil, no intervalo de 270 cm a 180 cm (amostras 14 a 10) apresenta valores de  $\delta^{15}\text{N}$  enriquecidos, ou seja com maior contribuição de plâncton, mas também estão presentes plantas terrestres  $\text{C}_3$ . A partir desta profundidade até a superfície os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  tornam-se gradativamente mais enriquecidos e de  $\delta^{15}\text{N}$  mais empobrecidos, indicando que, gradativamente, o ambiente tornou-se mais seco (menor contribuição planctônica do que o período anterior), permitindo a instalação de gramíneas  $\text{C}_4$  (resultando nos valores mais enriquecidos de  $\delta^{13}\text{C}$ ). Citando novamente a amostra 1 (0-10 cm), a interpretação através deste modelo é mais próxima da realidade atual, ou seja mostra a matéria orgânica derivada de uma mistura entre plantas terrestres  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ , com contribuição planctônica (esta última derivada provavelmente do período de inundação, nos meses de fevereiro a maio, deste setor da Ilha de Marajó).



**Figura 45** - Modelos sobre a fonte da matéria orgânica de sedimentos envolvendo a razão C/N x  $\delta^{13}\text{C}$  (Meyers, 2003 e Wilson et al., 2005) e  $\delta^{13}\text{C}$  x  $\delta^{15}\text{N}$  (Peterson & Howarth, 1987) com os valores obtidos no ponto C-AE (planície de inundação).

Através da análise dos dados de nitrogênio e carbono de alguns perfis sedimentares da Ilha de Marajó é possível verificar a necessidade de precaução na interpretação da origem da matéria orgânica utilizando somente o modelo proposto por Meyers, 2003 e Wilson et al., 2005 (razão C/N x  $\delta^{13}\text{C}$ ), pois como os valores de carbono orgânico total relativamente baixos nestes sedimentos, o nitrogênio total (incluindo o inorgânico) em relação a porcentagem de carbono tendem a razão de C/N baixas, ou seja, os valores ficam tendenciosos para o domínio de algas. Deste modo não é aconselhável a utilização deste modelo para amostras de sedimentos com COT muito baixos, como já abordado por Meyers (2003) (este autor cita o valor mínimo de 0,3% de carbono orgânico total para que não haja erros na interpretação).

Com relação ao modelo proposto por Peterson & Howarth (1987), envolvendo a relação entre  $\delta^{15}\text{N}$  x  $\delta^{13}\text{C}$  a interpretação aparentemente é mais confiável, como foi possível detectar através das amostras superficiais (0-10 cm) dos três pontos de estudo.

#### 4.8. INTEGRAÇÃO DOS DADOS

As observações de imagens de satélite e a atividade de campo permitem afirmar que a Ilha de Marajó pode ser dividida em dois setores distintos os quais apresentam diferentes domínios geológicos, geomorfológicos e vegetacionais. No setor leste, de menor elevação topográfica, predominam sedimentos lamosos, de coloração marrom em superfície tornando-se gradativamente acinzentado em profundidades aproximadas abaixo de 150 cm. Neste tipo de material, na época de seca, são formadas gretas de contração de abertura decimétrica e profundidade que chega a atingir 30 cm. Sobre estes materiais está instalada atualmente uma vegetação de campos composta essencialmente por gramíneas ( $C_3$  e  $C_4$ ) e outras ervas e mais raramente por arbustos e árvores. Também é possível verificar, neste setor, a existência de inúmeros paleocanais, com extensão de quilômetros, preenchidos por sedimentos siltosos a arenosos, com areia de granulometria muito fina. A vegetação arbórea atualmente predomina nestes paleocanais, em contraste com a vegetação de campos desenvolvida ao redor dos mesmos (sobre os materiais argilo siltosos).

O setor oeste apresenta as maiores elevações topográficas, sendo formado por solos arenosos, mosqueados e com freqüentes concreções de óxi-hidróxidos de ferro. Sobre estes materiais encontra-se a Floresta Amazônica. Estes solos também estão presentes em uma faixa no extremo leste da Ilha de Marajó. Quando o nível laterítico está próximo a superfície, como nos casos dos pontos TG e C-CAM, a vegetação de cerrado predomina.

A influência do substrato geológico na vegetação de cobertura atual é nítida. A vegetação arbórea no setor leste provavelmente não ocupa os domínios argilo siltosos devido a formação de grandes gretas de contração nestes materiais (rompimento de raízes) sendo um ambiente estressante para este tipo de vegetação. Os resultados da análise de  $\delta^{13}C$  de espécies botânicas atuais mostraram que, em termos de ciclos fotossintéticos todos os campos (com exceção de MOC-TC), incluindo os cerrados, apresentam gramíneas  $C_3$  e  $C_4$ . Nos paleocanais somente espécies que realizam o ciclo fotossintético  $C_3$  estão presentes, assim como as espécies de vegetação de mata encontradas no setor oeste da Ilha, sobre Plintossolos.

A composição isotópica do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) da matéria orgânica da camada superficial dos solos (0-10 cm) reflete a vegetação de cobertura atual, ou seja com valores entre -28,08‰ a -26,64‰ (vegetação de mata sobre paleocanal), entre -22,21‰ e -18,72‰ (vegetação de campos, com mistura de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ , sobre planície de inundação) e valores de -18,26‰ e -17,31‰ nos cerrados, indicando também a presença de plantas dos ciclos  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ .

Entretanto, analisando os valores isotópicos da matéria orgânica através dos perfis em estudo, é possível verificar que houve significativas modificações nos domínios da vegetação entre o Pleistoceno Superior e Holoceno (idades determinadas através de datação  $^{14}\text{C}$  da fração humina e fragmentos vegetais), principalmente no setor leste da Ilha de Marajó e que os diferentes substratos geológicos encontrados neste setor não influenciaram de modo significativo sobre a vegetação de cobertura (em termos de ciclos fotossintéticos) em épocas mais remotas. Por exemplo, todos os pontos de estudo que atingiram mais de 2,0 m de profundidade (com exceção de MOC-F e C-BAT), apresentaram valores de  $\delta^{13}\text{C}$  abaixo desta profundidade típicos de matéria orgânica derivada de plantas do ciclo fotossintético  $\text{C}_3$ , sendo indiferente se o material analisado possuía constituição areno siltosa (paleocanais) ou argilo siltosa (planície de inundação).

O domínio de plantas  $\text{C}_3$  registrado em intervalos mais profundos indicam uma maior umidade do ambiente em relação a situação atual. Este fato deve estar relacionado com o sistema hídrico na região, sendo que os canais (atualmente abandonados e preenchidos - paleocanais) durante o Pleistoceno e Holoceno Médio estavam ativos (Figura 46 A), fornecendo constantemente sedimentos finos para a planície de inundação. A coloração destes sedimentos é cinza médio a escura e por vezes há formação de pirita, o que indica uma deposição em ambiente redutor. Os constantes fragmentos vegetais, por vezes carbonizados, milimétricos a centimétricos encontrados nestes intervalos, também indicam a presença freqüente de paleoincêndios. Como o material carbonizado é derivado somente de plantas lenhosas (arbóreas), o setor leste da Ilha de Marajó apresentava uma vegetação mais arborizada durante o Pleistoceno Superior e Holoceno Médio (entre aproximadamente 16.000 a 5.000 anos AP) nos setores onde atualmente dominam os campos (Figura 46 A). A análise mineralógica mostra a existência de minerais instáveis ao intemperismo químico nestes sedimentos, como feldspato, hornblenda e biotita, sendo indicativos de um clima mais seco na época da deposição.

Um fator importante determinado através da análise mineralógica consiste que a área fonte dos sedimentos holocênicos do setor leste não está inserida no domínio da Ilha de Marajó (PA). Os solos do setor oeste e do extremo leste da Ilha (possíveis áreas fontes) desenvolvidos em sedimentos Plio-Pleistocênicos do Pós Barreiras são essencialmente quartzosos, apresentando somente minerais estáveis e ultra-estáveis ao intemperismo químico (quartzo, muscovita, zircão, turmalina e rutilo). Portanto é possível afirmar que havia uma conexão da Ilha de Marajó com o continente durante o Quaternário tardio (fonte dos minerais instáveis, como biotita, hornblenda e feldspatos).

A presença de espículas de esponjas nos sedimentos de um paleocanal também reforça esta hipótese, pois estes organismos se desenvolvem fixados a substratos rochosos de rios. Como na região da Ilha de Marajó não ocorre afloramentos rochosos, esses organismos provavelmente são derivados da área continental. As espécies identificadas nos sedimentos são as mesmas já relatadas atualmente no Rio Tocantins, na região de Tucuruí (PA).

No intervalo médio dos perfis analisados no setor leste (Holoceno Médio/Superior), aproximadamente entre 5.000 a 3.000 anos AP, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  tornam-se gradativamente mais enriquecidos, frequentemente atingindo o domínio de valores correspondentes a uma matéria orgânica derivada de mistura de plantas ( $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ ) e mais raramente atinge valores típicos de plantas  $\text{C}_4$ . Os pontos atualmente sob matas no setor oeste e o ponto MOC-F apresentam poucas variações neste intervalo, mas sempre mostrando uma tendência para o enriquecimento isotópico, entretanto permanecendo no domínio dos valores de plantas  $\text{C}_3$ . Deste modo podemos considerar o início da instalação dos campos na Ilha de Marajó no setor leste (com gramíneas  $\text{C}_4$ ) nesta época (Figura 46 B). A coloração marrom alaranjada dos sedimentos da planície de inundação neste período indica uma sedimenta o em ambiente oxidante (não relacionado com um ambiente de maior energia, pois a granulometria não varia, mas sim a uma maior freq u ncia de exposi o subaérea destes sedimentos). Minerais instáveis ao intemperismo químico como hornblenda na planície de inunda o e feldspato no paleocanal (MOC-F) e planície de inunda o estão presentes.

A causa desta mudança de vegeta o está relacionada com a dinâmica geológica do setor leste da Ilha (abandono de canais) e varia es climáticas mais secas no Holoceno Médio como já

registradas na região Amazônica neste período em outros trabalhos (SIFEDDINE et al., 1994; CORDEIRO, 1995; PESSEDA et al. 1998a; FREITAS et al., 2001; VIDOTTO, 2003).

Os próprios valores isotópicos do carbono encontrados na matéria orgânica de solos do setor oeste, portanto fora da influência deste ambiente de sedimentação holocênica, indicando uma tendência ao enriquecimento isotópico também suportam a hipótese de um clima mais seco atuante no período aproximado de 7.000 a 3.000 anos AP. Os canais, sendo abandonados, afetaram o sistema hídrico e conseqüentemente tornaram o ambiente mais seco. O clima seco atuante também favoreceu a instalação de gramíneas C<sub>4</sub>.

Até o Holoceno Médio o registro isotópico contido nos sedimentos dos canais (ativos) refletia portanto a matéria orgânica derivada da vegetação dos arredores (sobre diques marginais e planície de inundação). O abandono dos canais e contemporâneo preenchimento durante o Holoceno Tardio, favoreceram a instalação arbórea sobre os mesmos. Neste caso, a partir desta época, a matéria orgânica analisada nos paleocanais refletem a vegetação arbórea que ocupou os mesmos após o preenchimento do canal, sendo possível determinar a época do abandono desses paleocanais através de datação <sup>14</sup>C do intervalo superficial, que mostra um empobrecimento isotópico significativo em direção à superfície.

A causa para o abandono dos canais de drenagem na Ilha de Marajó foi proposta por Rossetti & Valeriano (2007) que atribuíram fatores de tectônica cenozóica na região neste processo. Em seu primeiro trabalho os autores mostram que provavelmente os paleocanais seriam derivados do Rio Tocantins que atravessava a região da Ilha de Marajó entre o Pleistoceno e Holoceno Médio. Nos segundo trabalho (ROSSETTI et al. 2007) indicam que os paleocanais provavelmente também seriam derivados do Rio Guamá. Os canais encontrados na Ilha de Marajó foram gradativamente sendo abandonados no sentido oeste para leste, pela captura de água pela retivação de falhas transcorrentes que formaram a Baía de Marajó. Com a instalação do rio Pará através de falhas transcorrentes houve a formação da Ilha de Marajó (separação do continente).

As idades mais antigas da matéria orgânica obtidas neste estudo pertencem ao ponto MOC-F (paleocanal), na região central da Ilha de Marajó, com idade de  $16.118 \pm 60$  anos AP em 300 cm de profundidade. Os fragmentos vegetais datados do ponto C-BAT, 20 km a leste do ponto anterior, apresentaram idade de apenas  $5.702 \pm 37$  anos AP em profundidade de 340 cm. Estes dados estão de

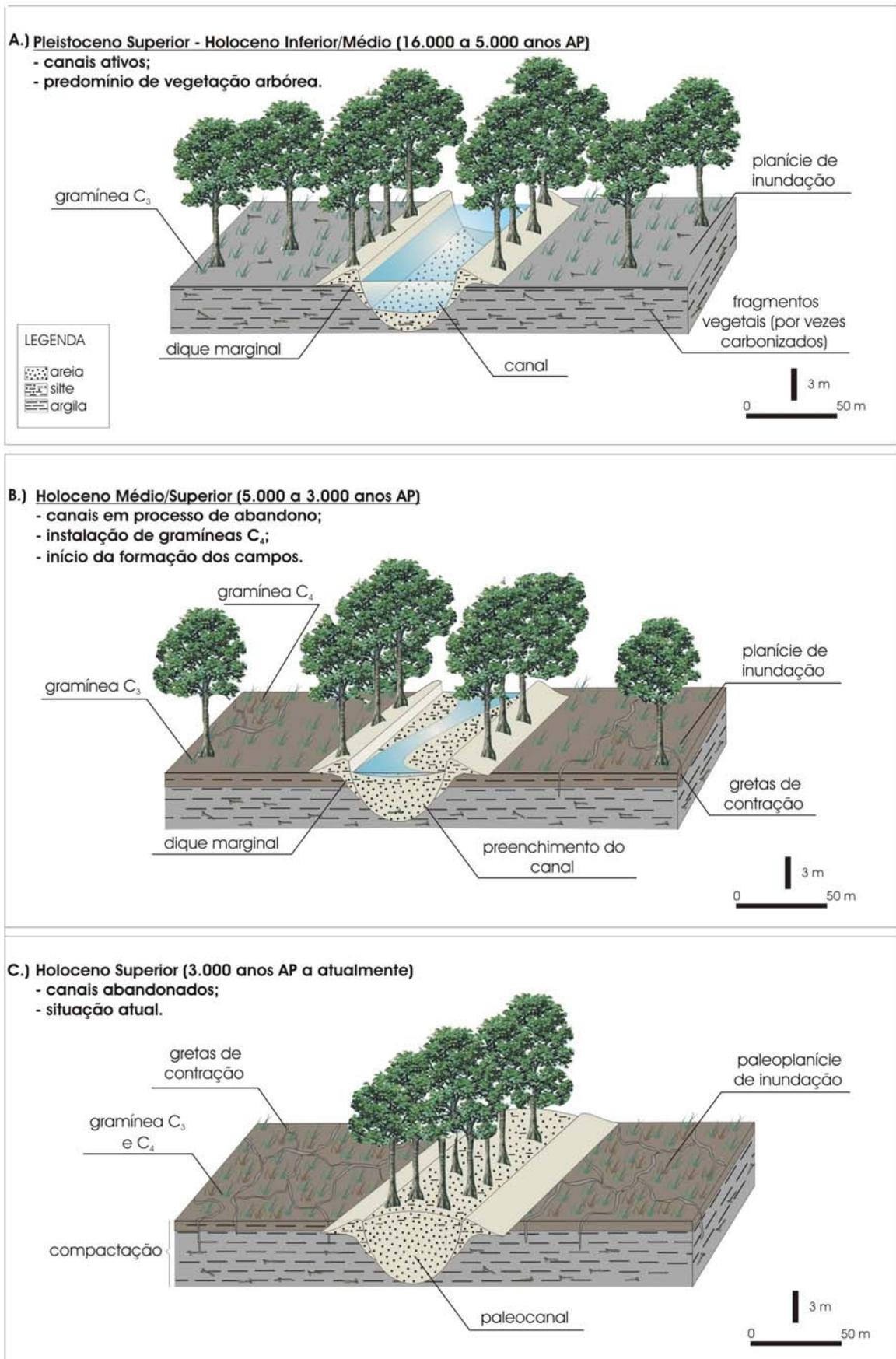
acordo com outras datações realizadas na região (ROSSETTI et al., 2007) e comprovam que o processo de abandono dos canais da Ilha não foi contemporâneo, sendo que os canais que foram desativados mais antigamente estão concentrados no setor oeste do domínio sedimentar holocênico, enquanto os mais jovens estão no leste deste setor.

Como as variações na vegetação no setor leste da Ilha de Marajó durante o Quaternário Tardio também, além do clima, estão associadas ao processo geológico de abandono de canais, é possível afirmar que a instalação de campos (presença de gramínea  $C_4$ ) iniciou no oeste do domínio holocênico se expandindo para leste de acordo com o abandono de canais. Este fato pode ser observado através de gráfico dos valores isotópicos do carbono através dos perfis que mostram tendências de enriquecimento e empobrecimento a profundidades semelhantes, entretanto quando há datação dos depósitos (como nos pontos MOC-F e C-BAT), é possível verificar claramente que não são contemporâneos.

A situação que é observada atualmente na Ilha de Marajó, em relação a vegetação e a geologia (sistema fluvial/estuarino abandonado) foi estabelecida somente no Holoceno Tardio (Figura 46 C), como observado através do empobrecimento isotópico significativo na superfície dos perfis dos paleocanais (instalação da vegetação arbórea) no setor leste e valores típicos de matéria orgânica derivada de plantas  $C_3$  e  $C_4$  na planície de inundação. Na superfície de alguns pontos em planície de inundação também foi registrado um empobrecimento isotópico (menos significativo que nos paleocanais), provavelmente indicando a instalação de um clima mais úmido do que o período anterior.

A análise de espículas de esponjas em sedimentos de um paleocanal e as análises isotópicas do nitrogênio tanto em paleocanal como na planície de inundação, mostram resultados que indicam um ambiente sedimentar estuarino para a região durante o Quaternário Tardio, com mistura de espécies de esponjas de água doce juntamente com espécies marinhas e uma matéria orgânica derivada de mistura de fontes terrestres (plantas  $C_3$  e  $C_4$ ) e algas. A contribuição de algas na constituição da matéria orgânica dos sedimentos do setor leste da Ilha de Marajó sempre foi significativa, sendo que maior influência é registrada no sentido da borda da área de sedimentação holocênica (ponto MOC-F) para o centro da área, nas proximidades do Lago Arari (ponto C-AE).

**ILHA DE MARAJÓ - PARÁ (SETOR LESTE)**



**Figura 46** - Bloco diagrama representando o processo de abandono de canais no setor leste da Ilha de Marajó e a influência deste processo no domínio da vegetação.

## CONCLUSÕES

A caracterização isotópica do carbono da vegetação de cobertura de diferentes fitofisionomias no nordeste da Ilha de Marajó, juntamente com a análise do  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria orgânica de solos/sedimentos, datação  $^{14}\text{C}$ , caracterização textural e mineralógica de sedimentos, análise de espículas de esponjas e dados isotópicos de nitrogênio, permitem afirmar que a região de estudo sofreu mudanças significativas em relação à vegetação e geologia, sendo possível visualizar três diferentes mudanças ambientais no setor leste da Ilha do Marajó desde o Pleistoceno Tardio (16.000 anos AP) ao Holoceno.

Durante o Pleistoceno Tardio e Holoceno Inferior/Médio os canais de drenagem (atualmente abandonados) estavam ativos na Ilha de Marajó, fornecendo constantemente sedimentos para planície de inundação ocupada provavelmente por gramíneas  $\text{C}_3$  e vegetação arbórea. A presença de fragmentos vegetais carbonizados (vegetação arbórea) e minerais instáveis ao intemperismo químico nos sedimentos analisados indicam um clima mais seco na época de deposição. Os resultados isotópicos do carbono neste período são típicos de matéria orgânica derivada de plantas  $\text{C}_3$ , com exceção de dois intervalos registrados em MOC-F (em 16.000 anos AP e em aproximadamente 13.000 anos AP) com valores que indicam uma matéria orgânica derivada de mistura de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ .

No Holoceno Médio os canais entram em processo de abandono, como demonstrado pela deposição de sedimentos de coloração marrom alaranjada na planície de inundação, indicando maior exposição subaérea (precipitação de óxi-hidróxidos de Fe), granodecrescência ascendente dos sedimentos dos paleocanais e pelos dados isotópicos do carbono que mostram uma matéria orgânica gradativamente mais enriquecida em direção à superfície no isótopo  $^{13}\text{C}$ , ou seja com maior porcentagem de gramíneas  $\text{C}_4$ , que ocuparam o ambiente seco da planície. Ainda são freqüentes os fragmentos vegetais carbonizados, como os datados no ponto C-BAT.

Podemos afirmar que não somente o processo de abandono de canais (por atividade tectônica – Rossetti et al, 2007) favoreceu a expansão de gramíneas  $\text{C}_4$  na região, mas a presença de um clima mais seco, que também foi registrado pelo enriquecimento isotópico do carbono nos solos do setor oeste da Ilha (arredores de Breves), foi um fator determinante para a formação dos campos (com

presença de gramíneas C<sub>4</sub>) no setor leste da Ilha de Marajó durante este período. Estes resultados estão de acordo com outros registros de mudanças climáticas na Amazônia, que mostram um período seco no Holoceno Médio, favorecendo a expansão de savanas que são encontradas atualmente em meio a Floresta Amazônica .

No Holoceno Superior os canais são preenchidos por sedimentos e abandonados. A vegetação arbórea ocupa a região dos paleocanais. Os campos, com mistura de plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> ficam restritos sobre os materiais argilosos a siltosos da planície de inundação. Esta situação permanece até os dias atuais.

Dados de microfósseis (espículas de esponjas) e isótopos de nitrogênio mostram que os sedimentos do setor leste da Ilha de Marajó são derivados de um ambiente deposicional transicional (estuarino). O abandono deste sistema ocorreu somente entre o Holoceno Médio e Superior.

## REFERÊNCIAS

- BAERTSCHI, P. Die fraktionierung der natürlichen im kohlendioxidstoffwechsel grüner pflanzen. **Helvetica Chimica Acta**, Zurich, v. 36, p. 773-781, 1953.
- BEHLING, H. First report on new evidence for the occurrence of *Podocarpus* and possible human presence at the mouth of the Amazon during the Late-glacial. **Vegetation History and Archaeobotany**, Heidelberg, v. 5, n. 3, p. 241-246, 1996.
- BEHLING, H. Late Quaternary environmental changes in the Lagoa da Curaçá region (eastern Amazonia, Brazil) and evidence of *Podocarpus* in the Amazon lowland. **Vegetation History and Archaeobotany**, Heidelberg, p. 175-183, 2001.
- BEHLING, H.; COSTA, M.L. Studies on Holocene tropical vegetation, mangrove and coast environments in the state of Maranhão, NE Brazil. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, Rotterdam, v. 10, n. 7, p. 93-118, 1997.
- BEHLING, H.; HOOGHIEMSTRA, H. Environmental history of the Colombian savannas of the Llanos Orientales since the Last Glacial Maximum from lake records El Pinal and Carimagua. **Journal of Paleolimnology**, Heidelberg, v. 21, n. 4, p. 461-476, 1999.
- BEHLING, H.; COSTA, M.L. Holocene vegetational and coastal environmental changes from the Lago Crispim record in northeastern Pará state, eastern Amazonia. **Review of Paleobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 114, p. 145-155, 2001.
- BEHLING, H.; COHEN, M.C.L.; LARA, R.J. Studies on Holocene mangrove ecosystem dynamics of the Bragança Peninsula in northeastern Pará, Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 40, p. 255-309, 2001.
- BEHLING, H.; COHEN, M.C.L.; LARA, R.J. Late Holocene mangrove dynamics of Marajó Island in Amazonia, northern Brazil. **Vegetation History and Archaeobotany**, Heidelberg, v. 13, n. 2, p. 73-80, 2004.
- BEMERGUY, R.L. **Estudo sedimentológico dos paleocanais da região do Rio Paracauri, Ilha de Marajó - Estado do Pará**. 1981. 95 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Ciências Geológicas e Geofísicas, Belém, 1981.
- BENDER, M.M. Mass spectrometric studies of carbon – 13 variations in corn and other grasses. **Radiocarbon**, New Haven, v. 10, p. 468-472, 1968.
- BENDER, M.M. Variations in the <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ratios of plants in relation to the pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation. **Phytochemistry**, Oxford, v. 10, p. 1239-1244, 1971.
- CALVIN, M; BENSON, A.A. The Path of Carbon in Photosynthesis IV: The Identity and Sequence of the Intermediates in Sucrose Synthesis. **Science**, v. 109, no. 2824, p. 140-142, 1949
- BOUTTON, T.W. Stable carbon isotopes ratios of natural materials. II. Atmospheric, terrestrial, marine and freshwater environmental. In: COLEMAN, D.C.; FRY, B. (Ed.). **Carbon isotopes techniques**. New York: Academic Press, 1991. p. 173-185.
- BOUTTON, T.W. Stable carbon isotopes of soil organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S.I. (Ed.). **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 47-82.
- CAVALCANTI, J.M.L. **Geofísica aplicada à prospecção de água subterrânea na área do Rio Paracauri- Ilha de Marajó (PA)**. 1979. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas, Belém, 1979.
- CERRI, C.C.;VOLKOFF, B. Matéria orgânica de três solos dos campos inundáveis da Ilha de Marajó (PA). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p. 93-100, 1988
- CLOERN, J.E.; CANUEL, E.A.; HARRIS, D. Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system. **Limnology and Oceanography**, Grafton, v. 47, n. 3, p. 713-729, 2002.

- COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L.; HASUI, Y.; BORGES, M.S.; FERREIRA JUNIOR, C.R.P.; BEZERRA, P.E.L.; COSTA, M.L.; FERNANDES, J.M.G. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. Belo Horizonte: UFMG. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 4, p. 23-44, 1996.
- COSTA, J.B.S.; HASUI, Y.; BEMERGUY, R.L.; SOARES-JÚNIOR, A.V.; VILLEGAS, J.M.C. Tectonics and paleogeography of the Marajó Basin, northern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 74, n. 3, p. 519-531, 2002.
- COLINVAUX, P.A.; DE OLIVEIRA, P.E.; MORENO, J.E.; MILLER, M.C.; BUSH, M.C. A long pollen record from lowland Amazônia: forest and colling in glacial times. **Science**, Washington, v. 274, p. 85-88, 1996.
- CORDEIRO, R.C. Mudanças paleoambientais e ocorrência de incêndios nos últimos 74.000 anos, na região de Carajás, Pará. 1995. 144 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 1995.
- CRAIG, H. The geochemistry of the stable carbon. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, New York, v. 3, p. 53-92, 1953.
- CRAIG, H. Carbon – 13 in plants and the relationships between carbon-13 and carbon -14 variations in nature. **Journal of Geology**, Chicago, v. 62, p. 115-149, 1954.
- DE OLIVEIRA, P.E. Glacial cooling and forest disequilibrium in Western Amazônia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 1, p. 130-138, 1996.
- DE OLIVEIRA, P.E.; CURTIS, J. Vegetação e clima durante o último ciclo glacial na Amazônia equatorial: o registro palinológico da Serra do Maicuru. In: CONGRESSO DA ABEQUA, Mariluz-Imbé, 2001. **Boletim de resumos...** São Paulo: ABEQUA, 2001. 1 CD-ROM.
- DESJARDINS, T.; FILHO, A.C.; MARIOTTI, A.; GIRARDIN, C. Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene as revealed by soil organic carbon isotope ratios. **Oecologia**, Berlin, v. 108, p. 749-756, 1996.
- FILHO, A.C.; TATUMI, S.H.; YEE, M. Dunas fósseis na Amazônia. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 191, p. 24-29, 2003.
- FREITAS, H.A.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; GOUVEIA, S.E.M.; RIBEIRO, A.S.; BOULET, R. Late Quaternary climate change in southern Amazon inferred from 17,000 years vegetation dynamic record from soil organic matter, using  $\delta^{13}\text{C}$  and  $^{14}\text{C}$  dating. **Quaternary Research**, San Diego, v. 55, p. 39-46, 2001.
- GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; ROVERATTI, R.; GOMES, B. M. Dinâmica de vegetações durante o Quaternário recente no sul do Amazonas indicada pelos isótopos do carbono ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  e  $^{14}\text{C}$ ). **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 11, p. 355-367, 1997.
- HABERLE, S.G.; MASLIN, M.A. Late Quaternary vegetation and climate history of the Amazon Basin based on a 50,000 years pollen record from the Amazon Fan. **Quaternary Research**, San Diego, v. 51, p. 27-38, 1999.
- HENDY, C.H.; RAFTER, T.A.; MACINTOSHI, N.W.G. The formation of carbonate nodules in the soils of the Darling Downs, Queensland, Austrália, and the dating of the Talgai cranium. In: INTERNATIONAL  $^{14}\text{C}$  CONFERENCE, 8., 1972, Wellington. **Proceedings...** Wellington: Royal Society of New Zealand, 1972.
- JAPIASSÚ, A.M.J.; GOÉS FILHO, L. Vegetação In: RADAM BRASIL. **Folha SA 22**: Belém. Rio de Janeiro: DNPM, 1974. p. 1-93. (Levantamento de Recursos Naturais, 5).
- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**: relações solo/planta. São Paulo: CERES, 1979.
- KLUGE, M.; TING, I. **Crassulacean acid metabolism**. Berlin: Springer-Verlag, 1978.
- LIMA, H.P. **Notas sobre a análise estratigráfica da Bacia de Marajó**. Belém: Petrobras, Departamento de Exploração do Norte, Divisão de Interpretação, 1987. 15 p. (Relatório Interno).
- MARTINELLI, L.A.; PESSENDA, L.C.R.; VALÊNCIA, E.P.E.; CAMARGO, P.B.; TELLES, E.C.C.; CERRI, C.C.; ARAVENA, R.; VITORIA, R.L.; RICHEY, J.E.; TRUMBORE, S. Carbon-13 variation with depth in soil of Brazil and climate changes during the Quaternary. **Oecologia**, Berlin, v. 106, p. 376-381, 1996.

- MEGGERS, B.; DANON, J. Identifications and implications of a hiatus in the archeological sequence on Marajo Island, Brazil. **Journal of the Washington Academy of Sciences**, Washington, v. 78, p. 245-253, 1988.
- MEYERS, P.A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. **Organic Geochemistry**, Bristol, v. 34, n. 2, p. 261-289, 2003.
- NEVES, P.C.P.; LORSCHETTER, M.L. Upper Quaternary palaeoenvironments in the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, Rotterdam, v. 9, p. 39-67, 1995.
- O'LEARY, M.H. Carbon isotopes in photosynthesis. Fractionation techniques may reveal new aspects of carbon dynamics in plants. **BioScience**, Washington, v. 38, n. 5, p. 328-336, 1988.
- OSMOND, C.B.; WINTER, K.; ZIEGLER, H. **Physiological plant ecology**. II. Water relations and carbon assimilation. Berlin: Springer-Verlag, 1982. p. 479-547.
- PAROLIN, M.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; STEVAUX, J.C. Sponge spicules in peaty sediments as paleoenvironmental indicators of the Holocene in the upper Paraná River, Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2007.
- PESSENDA, L.C.R.; CAMARGO, P.B. Datação radiocarbônica de amostras de interesse arqueológico e geológico por espectrometria de cintilação líquida de baixa radiação de fundo. **Química Nova**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 98-103, 1991.
- PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; MELFI, A.J.; TELLES, E.C.C.; BOULET, R.; VALENCIA, E.P.E.; TOMAZELLO, M. The use of carbon isotopes ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. **Radiocarbon**, New Haven, v. 38, p. 191-201, 1996a.
- PESSENDA, L.C.R.; VALÊNCIA, E.P.E.; MARTINELLI, L.A.; CERRI, C.C.  $^{14}\text{C}$  measures in tropical soil developed on basic rocks. **Radiocarbon**, New Haven, v. 38, n. 2, p. 203-208, 1996b.
- PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; GOMES, B.M.; BOULET, R.; RIBEIRO, A.S.  $^{14}\text{C}$  dating and stable carbon isotopes of soil organic matter in forest-savanna boundary areas in the southern Brazilian Amazon region. In: WASSERMAN, J.C.; SILVA-FILHO, E.; VILLAS-BOAS, R. (Ed.). **Environmental geochemistry in the tropics**. Berlin: Springer-Verlag, 1998a. p. 7-16.
- PESSENDA, L.C.R.; GOMES, B.M.; ARAVENA, R.; RIBEIRO, A.S.; BOULET, R.; GOUVEIA, S.E.M. The carbon isotope record in soils along a forest-cerrado ecosystem transect: implications for vegetation changes in the Rondonia state, southwestern Brazilian Amazon region. **The Holocene**, v. 8, n. 5, p. 631-635, 1998b.
- PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; ARAVENA, R.; GOMES, B.M.; BOULET, R.; RIBEIRO, A.S.  $^{14}\text{C}$  dating and stable carbon isotopes of soil organic matter in forest-savanna boundary areas in the southern Brazilian Amazon region. **Radiocarbon**, New Haven, v. 40, n. 2, p. 1013-1022, 1998c.
- PESSENDA, L.C.R.; BOULET, R.; ARAVENA, R.; ROSOLEN, V.; GOUVEIA, S.E.M.; RIBEIRO, A.S.; LAMOTTE, M. Origin and dynamics of soil organic matter and vegetation changes during the Holocene in a forest-savanna transition zone, Brazilian Amazon region. **The Holocene**, v. 11, p. 250-254, 2001.
- PETERSON, B.J.; HOWARTH, R.W. Sulfur, carbon, and nitrogen isotopes used to trace organic matter flow in the salt-marsh estuaries of Sapelo Island, Georgia. **Limnology and oceanography**, Grafton, v. 32, n. 6, p. 1195-1213, 1987.
- PORSANI, M.J. **Paleocanais, uma opção para prospecção de água subterrânea na Ilha de Marajó**. 1981. 109 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 1981.
- RADAM BRASIL. **Folha SA 22**: Belém. Rio de Janeiro: DNPM, 1974. (Levantamento de Recursos Naturais, 5).
- RODRIGUES, L.C.S.; SENNA, C.S.F. Pólen como bioindicador de mudanças ambientais na costa Amazônica. In: CONGRESSO INTERNACIONAL PIATAM: ambiente, homem, gás e petróleo, 1., 2005, Manaus. **Pólen como bioindicador de mudanças ambientais na costa amazônica**. Belém: Projeto PIATAM, 2005.
- ROELEVELD, W.; VAN LOON, A.J. The Holocene development of the young coastal plain of Suriname. **Geologie en Mijnbouw**, Heidelberg, v. 58, p. 21-28, 1979.

ROSSETTI, D.F. Paleosurfaces from northeastern Amazonia as a key for reconstructing paleolandscapes and understanding weathering products. **Sedimentary Geology**, Amsterdam, v. 169, 151-174, 2004.

ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W. Classificação estratigráfica para o Albiano-Terciário Inferior (?) na Bacia de São Luís, MA. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra**, Belém, v. 9, p. 31-43, 1997.

ROSSETTI, D.F.; TOLEDO, P.M.; MORAES-SANTOS, H.M.; JÚNIOR, A.E.A.S. Reconstructing habitats in central Amazonia using megafauna, sedimentology, radiocarbon, and isotope analyses. **Quaternary Research**, San Diego, v. 61, p. 289-300, 2004.

ROSSETTI, D.F.; VALERIANO, M.M. Evolution of the lowest Amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. **Catena**, Amsterdam, v. 70, p. 253-265, 2007.

ROSSETTI, D.F.; VALERIANO, M.M.; THALES, M. An abandoned estuary within Marajó Island: implications for Late Quaternary paleogeography of Northern Brazil. **Estuaries and Coasts**, Oxford, v. 30, n. 5, p. 813-826, 2007.

RULL, V.; VEGAS-VILARRÚBIA, T.; ESPINOZA, N.P. Palynological record of an early-mid Holocene mangrove in eastern Venezuela: Implications for sea-level rise and disturbance history. **Journal of Coastal Research**, Tallahassee, v. 15, n. 2, p. 496-504, 1999.

SCHALLER, H.; VASCONCELOS, D.N.; CASTRO, J.C. Estratigrafia preliminar da bacia sedimentar da Foz do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG, 1971. v. 3, p. 189-202.

SAIA, S.E.M.G. **Reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) no Quaternário tardio com base em estudo multi/interdisciplinar no Vale do Ribeira (sul do Estado de São Paulo)**. 2006. 119 f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SHEPARD, F.P. Nomenclature based on sand and silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa, v. 24, p. 151-158, 1954.

SIFEDDINE, A.; BERTRAND, P.; FOURNIER, M.; MARTIN, L.; SERVANT, M.; SOUBIÈS, F.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. La sédimentation organique lacustre en milieu tropical humide (Carajás, Amazonie orientale, Brésil): relation avec les changements climatiques au cours des 60000 dernières années. **Bulletin de La Société Géologique de France**, Paris, v. 165, p. 613-621, 1994.

SIFEDDINE, A.; WIRRMANN, D.; ALBUQUERQUE, A.L.A.; TURCQ, B.; CORDEIRO, R.C.; GURGEL, M.H.C.; ABRÃO, J.J. Bulk composition of sedimentary organic matter used in palaeoenvironmental reconstructions: examples from the tropical belt of South América and África. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 204, p. 41-53, 2004.

STOUT, J.D.; GOH, K.M.; RAFTER, T.A. Chemistry and turnover of naturally occurring resistant organic compounds in soil. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981. p. 1-73.

TANCREDI, A.C.F.N.S.; REIS, C.M.; SILVA, H.F. Etude hidrogeologique de L' ile de Marajo. **Association Internationale des Hidrogeologues. Mémoires**, Paris, v. 21, p. 21-24, 1975.

TAVARES, M.C.M. **Comunidades de esponjas de substratos rochosos de rios amazônicos com redefinição e chave taxonômica para o gênero *Drulia* Gray (1867). (Porífera: Despongiae)**. 1994. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

TISSOT, C.; MARIUS, C. Holocene evolution of the mangrove ecosystem in French Guiana: A palinological study. In: SINGH, K.P.; SINGH, J.S. (Ed.). **Tropical ecosystems: ecology and management**. New Delhi: Wiley Eastern, 1992. p. 333-347.

VIDOTTO, E. **Estudo da dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Quaternário tardio empregando os isótopos do carbono do solo e plantas**. 2003. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

VIDOTTO, E. **Reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) no Parque Estadual da Ilha do Cardoso – SP durante o Quaternário Tardio**. 2008. 199 f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

VILLEGAS, J.M. **Geologia estrutural da Bacia de Marajó**. 1994. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém, 1994.

VITAL, H. **Estudo do geossistema do Lago Arari, Ilha do Marajó, Pará**. 1988. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém, 1988.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; HATANAKA, T. Composição e substrato de espongofauna (Porífera) no lago da usina Hidroelétrica de Tucuruí, PA. **Iheringia. Serie Zoologia**, v. 71, p. 177, 1991.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; PAULS, S.M. Esponjas de água dulce (Porifera, Demospongiae) de Venezuela. **Acta Biológica Venezuelica**, Caracas, v. 20, n. 1, p. 1-28, 2000.

WILSON, G.P.; LAMB, A.L.; LENG, M.J.; GONZALEZ, S.; HUDDART, D. Variability of organic  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N in the Mersey Estuary, U.K. and its implications for sea-level reconstruction studies. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, Porto Alegre, v. 64, p. 685-698, 2005.

## *Apêndice A*

### *Análise granulométrica*

GRANULOMETRIA (MOC-F)					
Nº da amostra	Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe de textura
1	0-10	12	68	20	silte argiloso
2	10-20	12	68	20	silte argiloso
3	30-40	12	64	24	silte argiloso
4	50-60	9	60	31	silte argiloso
5	70-80	10	63	27	silte argiloso
6	90-100	10	66	24	silte argiloso
7	110-120	35	51	14	silte arenoso
8	130-140	20	60	20	silte arenoso
9	150-160	23	63	14	silte arenoso
10	170-180	49	41	10	areia siltica
11	190-200	37	53	10	silte arenoso
12	210-220	27	61	12	silte arenoso
13	230-240	43	47	10	silte arenoso
14	250-260	22	59	19	silte arenoso
15	270-280	37	53	10	silte arenoso
16	290-300	39	55	6	silte arenoso
17	300-310	35	57	8	silte arenoso

GRANULOMETRIA (MOC-TF)					
Nº da amostra	Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe de textura
1	0-10	16	52	32	silte argiloso
2	20-30	18	48	34	silte argiloso
3	40-50	16	47	37	silte argiloso
4	60-70	35	38	27	silte areno argiloso
5	80-90	41	41	18	silte arenoso
6	100-110	35	43	22	silte arenoso
7	120-130	39	41	20	silte arenoso
8	140-150	78	10	12	areia
9	160-170	78	12	10	areia
10	180-190	82	10	8	areia
11	200-210	84	8	8	areia
12	220-230	76	14	10	areia
13	240-250	80	14	6	areia
14	260-270	82	8	10	areia
15	280-290	80	10	10	areia
16	300-310	84	8	8	areia
17	320-330	84	10	6	areia

GRANULOMETRIA (MOC-TC)					
Nº da amostra	Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe de textura
1	0-10	25	55	20	silte arenoso
2	20-30	25	53	22	silte arenoso
3	40-50	39	39	22	silte arenoso
4	60-70	62	26	12	areia siltica
5	80-90	57	31	12	areia siltica
6	100-110	66	24	10	areia siltica
7	120-130	74	18	8	areia siltica
8	140-150	86	6	8	areia
9	160-170	84	10	6	areia
10	180-190	88	6	6	areia
11	190-200	84	10	6	areia
12	200-210	82	12	6	areia

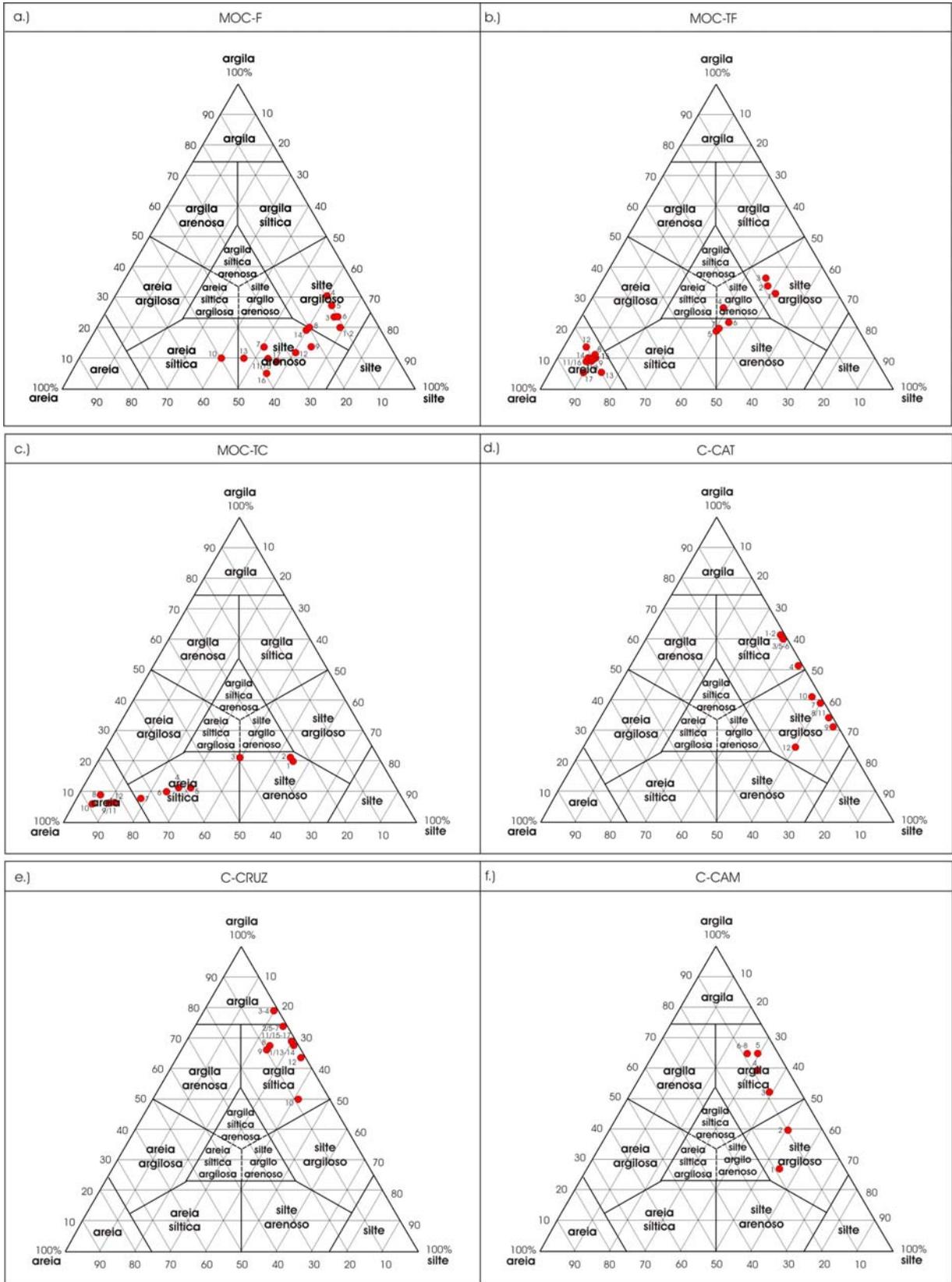
GRANULOMETRIA (C-CAT)					
Nº da amostra	Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe de textura
1	0-10	2	36	62	argila siltica
2	20-30	2	36	62	argila siltica
3	40-50	2	38	60	argila siltica
4	60-70	2	46	52	argila siltica
5	80-90	2	38	60	argila siltica
6	100-110	2	38	60	argila siltica
7	120-130	2	60	38	silte argiloso
8	140-150	2	64	34	silte argiloso
9	160-170	2	66	32	silte argiloso
10	180-190	3	56	41	silte argiloso
11	190-200	2	64	34	silte argiloso
12	200-210	16	60	24	silte argiloso

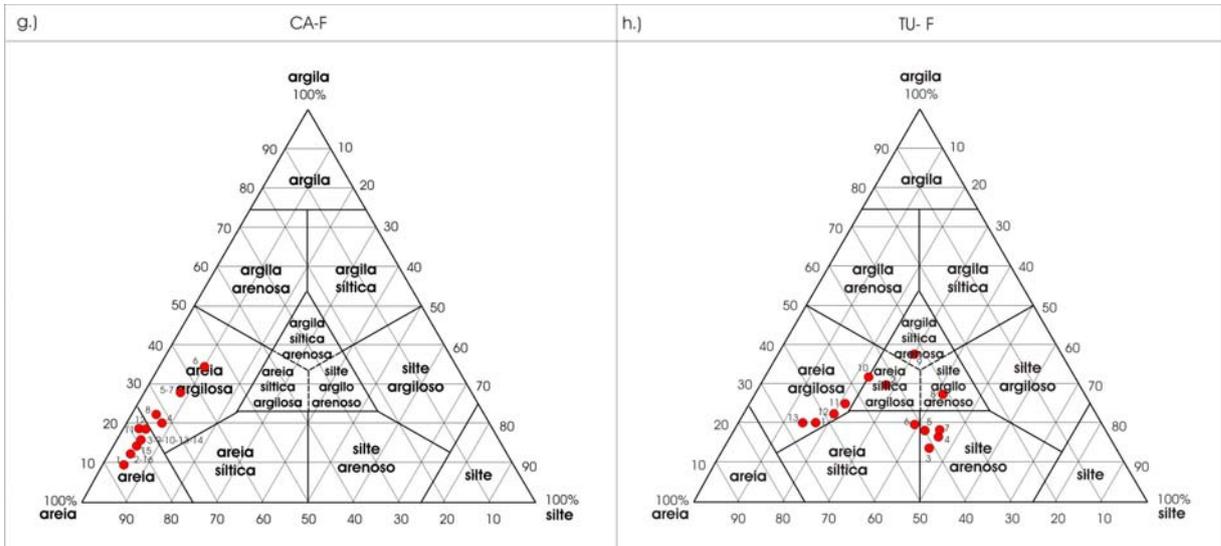
GRANULOMETRIA (C-CRUZ)					
Nº da amostra	Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe de textura
1	0-10	2	32	66	argila siltica
2	20-30	2	24	74	argila siltica
3	40-50	2	20	78	argila
4	60-70	2	20	78	argila
5	80-90	2	24	74	argila siltica
6	100-110	2	24	74	argila siltica
7	120-130	2	24	74	argila siltica
8	140-150	8	24	68	argila siltica
9	170-180	10	24	66	argila siltica
10	180-190	8	42	50	argila siltica
11	200-210	2	30	68	argila siltica
12	220-230	2	35	63	argila siltica
13	240-250	2	33	65	argila siltica
14	250-260	2	34	64	argila siltica
15	280-290	2	36	69	argila siltica
16	290-300	2	34	68	argila siltica
17	300-310	2	31	67	argila siltica

GRANULOMETRIA (C-CAM)					
Nº da amostra	Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe de textura
1	0-10	18	55	27	silte argiloso
2	20-30	10	51	39	silte argiloso
3	40-50	8	39	53	argila siltica
4	60-70	8	33	59	argila siltica
5	80-90	6	29	65	argila siltica
6	100-110	8	27	65	argila siltica
7	120-130	8	27	65	argila siltica
8	130-140	8	27	65	argila siltica

GRANULOMETRIA (CA-F)					
Nº da amostra	Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe de textura
1	0-10	86	6	8	areia
2	20-30	82	6	12	areia
3	40-50	78	6	16	areia
4	60-70	72	8	20	areia argilosa
5	80-90	64	8	28	areia argilosa
6	100-110	56	10	34	areia argilosa
7	120-130	64	8	28	areia argilosa
8	140-150	72	6	22	areia argilosa
9	160-170	78	6	16	areia
10	180-190	78	6	16	areia
11	200-210	78	4	18	areia
12	220-230	76	6	18	areia
13	240-250	78	6	16	areia
14	260-270	78	6	16	areia
15	280-290	80	6	14	areia
16	300-310	82	6	12	areia

GRANULOMETRIA (TU-F)					
Nº da amostra	Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe de textura
1	0-10	63	17	20	areia argilosa
2	20-30	42	28	30	areia siltica argilosa
3	40-50	41	45	14	silte arenoso
4	60-70	38	46	16	silte arenoso
5	80-90	40	42	18	silte arenoso
6	100-110	41	39	20	areia siltica
7	120-130	37	45	18	silte arenoso
8	140-150	31	41	28	silte argilo arenoso
9	160-170	32	30	38	argila siltica arenosa
10	180-190	45	23	32	areia argilosa
11	200-210	53	21	26	areia argilosa
12	220-230	58	20	22	areia argilosa
13	240-250	66	14	20	areia argilosa





*Apêndice B*

*Análise química*

ANÁLISE QUÍMICA (MOC-F)														
Amostra	pH			M.O	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB*	T**	V	m
	MOC-F	H <sub>2</sub> O	KCl											
0-10	4,4	3,6	3,8	42	13	1,8	2	9	31	80	12,8	92,8	14	71
10-20	4,5	3,8	3,8	36	10	1,1	1	3	29	65	5,1	70,1	7	85
30-40	5,0	3,7	3,9	10	2	0,6	1	3	31	53	4,6	57,6	8	87
50-60	4,9	3,7	3,8	7	1	0,9	1	4	50	65	5,9	70,9	8	89
70-80	5,4	3,7	3,9	3	1	1,1	1	4	54	62	6,1	68,1	9	90
90-100	5,3	3,6	3,8	3	1	1,3	1	4	50	57	6,3	63,3	10	89
110-120	5,8	3,8	4,0	1	1	0,9	1	4	30	27	5,9	32,9	18	84
130-140	5,6	3,6	4,0	1	1	1,3	1	5	26	28	7,3	35,3	21	78
150-160	6,0	3,7	4,1	2	1	1,1	1	7	12	14	9,1	23,1	39	57
170-180	5,7	4,0	4,5	1	1	0,9	1	8	3	5	9,9	14,9	66	23
190-200	5,9	4,6	4,9	1	1	0,9	1	12	1	3	13,9	16,9	82	7
210-220	5,3	4,5	4,9	1	3	1,1	1	35	1	8	37,1	45,1	82	3
230-240	5,7	4,5	5,1	1	1	1,4	1	25	0	4	27,4	31,4	87	0
250-260	4,4	3,7	4,2	19	2	3,8	15	76	5	33	94,8	127,8	74	5
270-280	3,9	3,4	3,7	7	2	2,5	14	52	9	26	68,5	94,5	72	12
290-300	4,8	4,1	4,5	2	2	1,8	6	25	2	6	32,8	38,8	85	6
300-310	4,2	3,5	4,0	2	2	2,2	12	44	6	19	58,2	77,2	75	9

\*SB = Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> \*\*T = SB + H + Al

ANÁLISE QUÍMICA (C-CRUZ)														
Amostra	pH			M.O	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB*	T**	V	m
	C-CRUZ	H <sub>2</sub> O	KCl											
20-30	5,1	3,8	4,4	25	4	2,5	12	29	24	70	43,5	113,5	38	36
40-50	5,9	4,7	5,4	7	4	5	34	152	0	16	191,0	207,0	92	0
70-80	6,4	5,2	6,1	3	15	7,5	35	148	0	5	190,5	195,5	97	0
110-120	5,3	4,3	4,4	3	18	9,0	47	168	4	22	224,0	246,0	91	2
130-140	4,5	---	---	3	7	8,6	40	152	19	44	200,6	244,6	82	9

\*SB = Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> \*\*T = SB + H + Al

ANÁLISE QUÍMICA (C-CAM)														
Amostra	pH			M.O	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB*	T**	V	m
	C-CAM	H <sub>2</sub> O	KCl											
20-30	4,3	3,8	3,8	27	3	0,4	1	1	26	57	2,4	59,4	4	92
50-60	4,8	3,8	3,9	7	1	0,3	1	1	35	49	2,3	51,3	4	94
60-70	4,4	3,7	3,8	7	1	0,3	1	1	36	49	2,3	51,3	4	94
100-110	4,9	3,8	3,9	6	1	0,5	1	1	47	57	2,5	59,5	4	95
130-140	4,5	3,6	3,7	3	1	0,5	1	1	48	56	2,5	58,5	4	95

\*SB = Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> \*\*T = SB + H + Al

*Apêndice C*

*Levantamento botânico*

LEVANTAMENTO BOTÂNICO (MOC-C)				
Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
<b>Arecaceae</b>				
	<i>Astrocaryum murumuru</i> Wallace	estipe	comum	-----
	<i>Bactris campestris</i> Poepp.	estipe	comum	-34,18*
	<i>Desmoncus polyacanthos</i> Mart.	estipe	comum	-36,53*
<b>Asteraceae</b>				
	<i>Trichospira menthoides</i> H.B. & K.	erva	comum	-30,69*
<b>Boraginaceae</b>				
	<i>Cordia multispicata</i> Cham.	arbusto	raro	-----
	<i>Cordia tetrandra</i> Aubl.	árvore	comum	-29,24*
<b>Bromeliaceae</b>				
	<i>Guzmania lingulata</i> Mez	epífita	comum	-15,93
<b>Costaceae</b>				
	<i>Costus arabicus</i> Linn.	erva	comum	-31,68
<b>Cyperaceae</b>				
	<i>Cyperus luzulae</i> Rottl.ex Willd.	erva	abundante	-26,00*
	<i>Cyperus surinamensis</i> Rottb.	erva	abundante	-34,28*
	<i>Fimbristylis</i> sp	erva	abundante	-----
	<i>Scleria bracteata</i> Cav.	erva	comum	-29,54
<b>Euphorbiaceae</b>				
	<i>Dalechampia</i> sp	cipó	comum	-----
	<i>Dalechampia affinis</i> Muell.Arg.	cipó	comum	-----
	<i>Margaritaria nobilis</i> Linn.f.	arbusto	raro	-29,38
	<i>Sapium curupita</i> Huber	árvore	comum	-26,34*
<b>Fabaceae</b>				
	<i>Aeschynomene evenia</i> Wright		comum	-29,75
	<i>Inga grandiflora</i> Ducke	árvore	comum	-31,36*
	<i>Senna reticulata</i> (Willd.) H.S.Irwin & Barneby	arbusto	comum	-28,98*
	<i>Vigna campestris</i> (Mart.) R.Wilczek	erva	comum	-----
<b>Melastomataceae</b>				
	<i>Clidemia hirta</i> D.Don	erva	raro	-28,95
<b>Myristicaceae</b>				
	<i>Virola sebifera</i> Aubl.	árvore	abundante	-----
<b>Poaceae</b>				
	<i>Panicum laxum</i> Sw.	erva	abundante	-27,66*
	<i>Panicum mertensii</i> Roth	erva	abundante	-27,66*
	<i>Panicum rudgei</i> Roem.	erva	abundante	-27,12*
	<i>Paspalum orbiculatum</i> Poir.	erva	abundante	-12,03*
<b>Rubiaceae</b>				
	<i>Genipa spruceana</i> Steyerl.	árvore		-----
	<i>Tocoyena formosa</i> K.Schum.	arbusto	raro	-29,15
<b>Sapindaceae</b>				
	<i>Paullinia pinnata</i> Griseb.	cipó	comum	-29,17
<b>Solanaceae</b>				
	<i>Solanum stramonifolium</i> ***	arbusto	comum	-----

Sterculiaceae				
	<i>Waltheria americana</i> L.	erva	comum	-27,88
Urticaceae				
	<i>Cecropia polystachya</i> Trec.	árvore	raro	-----
Verbenaceae				
	<i>Citharexylum macrophyllum</i> Poir.	arbusto	comum	-29,42
Vitaceae				
	<i>Vitex triflora</i> Vahl	arbusto	comum	-32,99*

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

## LEVANTAMENTO BOTÂNICO (MOC-F)

Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
Annonaceae				
	<i>Unonopsis guatterrioides</i> (A.DC.) R.E.Fries	árvore	comum	-----
	<i>Xylopia amazonica</i> R.E.Fries	árvore	comum	-34,85
Araceae				
	<i>Philodendron</i> sp.	cipó	comum	-30,18
Arecaceae				
	<i>Astrocaryum jauari</i> Mart.	palmeira	comum	-----
	<i>Bactris campestris</i> Poepp.	palmeira	comum	-34,18
	<i>Desmoncus</i> sp.	palmeira	comum	-----
	<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	palmeira	comum	-32,57
Bignoniaceae				
	<i>Anemopaegma chrysoleucum</i> (H.B. & K.) Sandwith	cipó	comum	-33,42
Caryocaraceae				
	<i>Caryocar glabrum</i> Pers.	árvore	comum	-28,77
Chrysobalanaceae				
	<i>Licania apetala</i> Fritsch	árvore	raro	-31,87
	<i>Parinari excelsa</i> Sabine	árvore	abundante	-32,33*
Clusiaceae				
	<i>Caraipa richardiana</i> Cambess.	árvore	comum	-----
	<i>Symphonia globulifera</i> Linn.f.	árvore	raro	-30,99
Costaceae				
	<i>Costos arabicus</i> Linn.	erva	comum	-32,14
Cucurbitaceae				
	<i>Gurania speciosa</i> Cogn.	cipó	raro	-33,39
Cyperaceae				
	<i>Cyperus surinamensis</i> Rottb.	erva	comum	-34,28
Ebenaceae				
	<i>Diospyros guianensis</i> Gurke	árvore	comum	-31,15
Euphorbiaceae				
	<i>Sagotia racemosa</i> Baill.	árvore	comum	-----
Fabaceae				
	<i>Derris pterocarpus</i> (DC.) Killip	cipó	raro	-34,65
	<i>Inga grandiflora</i> Ducke	árvore	raro	-31,36
	<i>Inga nobilis</i> Willd.	árvore	comum	-30,80
	<i>Zygia latifolia</i> Fawcett & Rendle	árvore	comum	-31,13

Gentianaceae				
	<i>Coutoubea ramosa</i> Aubl.	erva	comum	-----
	<i>Potalia amara</i> Aubl.	arbusto	comum	-----
Heliconiaceae				
	<i>Heliconia psittacorum</i> Linn.f.	erva	abundante	-32,88
Lecythidaceae				
	<i>Gustavia augusta</i> Linn.	arbusto	comum	-33,83*
Marantaceae				
	<i>Calathea lutea</i> G.F.W.Met.	erva	comum	-29,25*
Melastomataceae				
	<i>Miconia ceramicarpa</i> Cogn.	arbusto	raro	-----
	<i>Miconia nervosa</i> Triana	arbusto	comum	-----
	<i>Mouriri grandiflora</i> DC.***	árvore	comum	-----
Meliaceae				
	<i>Trichilia micrantha</i> Benth.	árvore	comum	-----
Myristicaceae				
	<i>Virola michelii</i> Heckel	árvore	comum	-----
	<i>Virola surinamensis</i> Warb.	árvore	comum	-----
Poaceae				
	<i>Bambusa</i> sp.	erva	abundante	-27,08
	<i>Olyra longifolia</i> H.B. & K.	erva	comum	-32,54
Rubiaceae				
	<i>Posoqueria latifolia</i> Roem. & Schult.	arbusto	comum	-32,60
Sterculiaceae				
	<i>Theobroma mariae</i> Schum.	arbusto	raro	-----
Vitaceae				
	<i>Vitex triflora</i> Vahl	árvore	comum	-32,99
LITEIRA				-30,536

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

LEVANTAMENTO BOTÂNICO (MOC-TF)				
Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
Arecaceae				
	<i>Bactris setosa</i> Mart.	palmeira	comum	-----
	<i>Desmoncus polyacanthos</i> Mart.	palmeira	comum	-36,53
Bignoniaceae				
	<i>Anemopaegma chrysoleucum</i> (H.B. & K.) Sandwith	cipó	comum	-31,547
	<i>Memora magnifica</i> Bureau ex Warm.	cipó	comum	-28,64*
Boraginaceae				
	<i>Cordia tetrandra</i> Aubl.	árvore	comum	-29,24
Chrysobalanaceae				
	<i>Parinari excelsa</i> Sabine ***	árvore	comum	-32,33
Cyperaceae				
	<i>Scleria microcarpa</i> Nees	erva	comum	-----
Fabaceae				
	<i>Inga</i> sp. 1	árvore	comum	-----

	<i>Pterocarpus amazonicus</i> Huber	árvore	comum	-32,16
Lauraceae				
	<i>Aniba citrifolia</i> Mez	árvore	comum	-33,04
Lecythidaceae				
	<i>Gustavia augusta</i> Linn.	árvore	comum	-33,83*
Marantaceae				
	<i>Calathea lutea</i> G.F.W.Met.	erva	comum	-29,25*
Moraceae				
	<i>Maquira coriacea</i> (Karsten) C.C.Berg	árvore	comum	-32,60
Rubiaceae				
	<i>Psychotria racemosa</i> Rich.	arbusto	comum	-31,76
Simaroubaceae				
	<i>Simaba multiflora</i> A.Juss.***	árvore	comum	-29,87
LITEIRA				-29,28

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

#### LEVANTAMENTO BOTÂNICO (MOC-TC)

Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
Cyperaceae				
	<i>Cyperus</i> sp.	erva	raro	-26,00*
Fabaceae				
	<i>Senna reticulata</i> (Willd.) H.S.Irwin & R.C.Barneby	arbusto	abundante	-28,98
Poaceae				
	<i>Panicum laxum</i> Sw.	erva	abundante	-27,66
	<i>Panicum millegrana</i> Poir.	erva	comum	-30,36

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

#### LEVANTAMENTO BOTÂNICO (C-CER)

Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
Asteraceae				
	<i>Trichospira menthoides</i> H.B. & K.	erva	abundante	-30,69
Bignoniaceae				
	<i>Tabebuia serratifolia</i> Nichols.	árvore	abundante	-25,87*
Convolvulaceae				
	<i>Ipomoea asarifolia</i> Roem. & Schult.	erva	abundante	-28,92
Cyperaceae				
	<i>Bulbostylis</i> sp.	erva	comum	-27,66
	<i>Bulbostylis truncata</i> (Nees) M.T.Strong	erva	raro	-12,40
	<i>Cyperus luzulae</i> Rottl.ex Willd.	erva	comum	-26,00
Malpighiaceae				
	<i>Byrsonima crassifolia</i> H.B. & K.	árvore	comum	-29,18*
Poaceae				
	<i>Axonopus purpusii</i> Chase	erva	abundante	-14,48*
	<i>Panicum laxum</i> Sw.	erva	comum	-27,10

LEVANTAMENTO BOTÂNICO (C-CAT)				
Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
Asteraceae		erva	comum	-----
Convolvulaceae	<i>Ipomoea asarifolia</i> Roem. & Schult.	erva	abundante	-28,92*
Cyperaceae	<i>Bulbostylis truncata</i> (Nees) M.T.Strong	erva	comum	-12,40*
	<i>Cyperus luzulae</i> Rottl.ex Willd.	erva	comum	-28,43
Fabaceae	<i>Mimosa dormiens</i> Humb. & Bonpl.ex Willd.	arbusto	abundante	-29,79
Poaceae	<i>Axonopus purpusii</i> Chase	erva	comum	-14,48*
	<i>Panicum laxum</i> Sw.	erva	comum	-27,66*
	<i>Paspalum riparium</i> Nees	erva	raro	-12,14
		erva	abundante	-12,81

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

LEVANTAMENTO BOTÂNICO (C-BAT)				
Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
Asteraceae	<i>Mikania congesta</i> DC.	erva	comum	-----
	<i>Trichospira menthoides</i> H.B. & K.	erva	comum	-30,69*
Convolvulaceae	<i>Ipomoea asarifolia</i> Roem. & Schult.	erva	abundante	-28,92*
	<i>Ipomoea carnea</i> Forst.f.	arbusto	abundante	-24,60*
Cyperaceae	<i>Bulbostylis truncata</i> (Nees) M.T.Strong	erva	abundante	-12,02*
Fabaceae	<i>Aeschynomene evenia</i> Wright	erva	comum	-29,75*
	<i>Mimosa dormiens</i> Humb. & Bonpl.ex Willd.	erva	comum	-29,79*
Lamiaceae	<i>Hyptis atrorubens</i> Poit.	erva	comum	-----
Malvaceae	<i>Sida</i> sp.	erva	abundante	-27,29*
Poaceae	<i>Panicum laxum</i> Sw.	erva	abundante	-27,66*
	<i>Panicum rudgei</i> Roem.	erva	abundante	-27,12*
	<i>Paspalum orbiculatum</i> Poir.	erva	comum	-12,03*
	<i>Paspalum pulchellum</i> H.B. & K.	erva	comum	-----
Rubiaceae	<i>Borreria verticillata</i> G.F.W.Mey.	erva	comum	-----

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

LEVANTAMENTO BOTÂNICO (C-CRUZ)				
Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Asteraceae		erva	comum	-----
Convolvulaceae	<i>Ipomoea carnea</i> Forst.f.	arbusto	abundante	-24,60
Cyperaceae	<i>Cyperus</i> sp.	erva	comum	-26,00*
	<i>Cyperus luzulae</i> Rottl.ex Willd.	erva	raro	-26,00*
	<i>Fimbristylis</i> sp.	erva	comum	-12,40*
Fabaceae	<i>Chamaecrista</i> sp. 1	erva	abundante	-----
	<i>Mimosa dormiens</i> Humb. & Bonpl.ex Willd.		comum	-29,79*
Malvaceae	<i>Wissadula periplocifolia</i> Griseb.	arbusto	comum	-----
Poaceae	<i>Panicum mertensii</i> Roth	erva	comum	-27,66*
	<i>Paspalum orbiculatum</i> Poir.	erva	raro	-12,03

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

LEVANTAMENTO BOTÂNICO (C-AE)				
Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Araceae	<i>Dieffenbachia seguine</i> Baill.	erva	comum	-----
Areaceae	<i>Bactris</i> sp.	estipe	raro	-----
Asteraceae	<i>Trichospira menthoides</i> H.B. & K.	erva	comum	-30,60
Boraginaceae	<i>Cordia tetrandra</i> Aubl.	árvore	comum	-29,24*
	<i>Heliotropium indicum</i> L.	erva	raro	-----
Convolvulaceae	<i>Ipomoea asarifolia</i> Roem. & Schult.	erva	comum	-28,92*
	<i>Ipomoea carnea</i> Forst.f.	erva	comum	-24,60*
Cyperaceae	<i>Bulbucytilis truncata</i> (Nees) M.T.Strong	erva	comum	-12,02
	<i>Mariscus ligularis</i> (L.) Hutchinson	erva	abundante	-28,09
	<i>Scirpus cubensis</i> Poepp. & Kunth	erva	comum	-----
Euphorbiaceae	<i>Sapium curupita</i> Huber	árvore	comum	-26,34
Fabaceae	<i>Mimosa pigra</i> Linn.	erva	comum	-29,56
	<i>Senna reticulata</i> (Willd.) H.S.Irwin & R.C.Barneby	arbusto	comum	-28,98*
Malvaceae	<i>Sida</i> sp	erva	comum	-27,29

Marantaceae				
	<i>Calathea lutea</i> G.F.W.Met.	erva	raro	-29,25
Moraceae				
	<i>Ficus amazonica</i> Miq.	árvore	comum	-29,27
Onagraceae				
	<i>Ludwigia nervosa</i> (Poir.) Hara	erva	raro	-----
Poaceae				
	<i>Axonopus purpusii</i> Chase	erva	abundante	-14,48
	<i>Panicum laxum</i> Sw.	erva	abundante	-27,66*
	<i>Panicum rudgei</i> Roem.	erva	abundante	-27,12
	<i>Paspalum riparium</i> Nees	erva	abundante	-28,42
Sapindaceae				
	<i>Paullinia pinnata</i> Griseb.	cipó	comum	-29,17*
Solanaceae				
	<i>Solanum stramonifolium</i> Dunal.	arbusto	comum	-----

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

## LEVANTAMENTO BOTÂNICO (CA-IM)

Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Anacardiaceae				
	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-----
Araceae				
	<i>Dieffenbachia seguine</i> Baill.	erva	abundante	-----
	<i>Philodendron megalophyllum</i> Schott	epífita	abundante	-32,18
Areaceae				
	<i>Astrocaryum vulgare</i> Mart.	estipe	abundante	-31,28
Bignoniaceae				
	<i>Cyclista aequinoctialis</i> Miers	cipó	abundante	-30,34
Celastraceae				
	<i>Salacia elliptica</i> G.Don	cipó	comum	-----
Cyperaceae				
	<i>Scleria bracteata</i> Cav.	erva	comum	-----
Euphorbiaceae				
	<i>Margaritaria nobilis</i> Linn.f.	arbusto	raro	-----
Fabaceae				
	<i>Andira inermis</i> H.B. & K.	árvore	comum	-----
	<i>Cynometra bauhiniaefolia</i> Benth.	árvore	abundante	-----
	<i>Desmodium polycanthus</i> Mart.**	cipó	abundante	-----
	<i>Entada polyphylla</i> Benth.	cipó	abundante	-29,54
	<i>Inga grandiflora</i> Ducke	árvore	comum	-31,36*
	<i>Inga ingoides</i> Willd.	árvore	comum	-----
	<i>Inga nobilis</i> Willd.	árvore	comum	-30,80*
Lamiaceae				
	<i>Hyptis atrorubens</i> Poit.	erva	comum	-----
Lecythidaceae				
	<i>Gustavia augusta</i> Linn.	árvore	abundante	-33,83*

Melastomataceae				
	<i>Mouriri grandiflora</i> DC.***	árvore	comum	-----
	<i>Mouriri guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-----
Moraceae				
	<i>Ficus amazonica</i> Miq.	árvore	comum	-29,27*
Ochnaceae				
	<i>Ouratea castaneaeifolia</i> Engl.	árvore	comum	-----
Poaceae				
	<i>Panicum laxum</i> Sw.	erva	abundante	-27,66*
Polygonaceae				
	<i>Coccoloba latifolia</i> Lam.	árvore	comum	-32,61
Rubiaceae				
	<i>Alibertia edulis</i> A.Rich.	arbusto	abundante	-29,80
	<i>Genipa spruceana</i> Steyermark	árvore	comum	-----
	<i>Randia spinosa</i> Karst.	arbusto	comum	-31,76
Simaroubaceae				
	<i>Simaba multiflora</i> A.Juss.***	árvore	comum	-29,87*
Solanaceae				
	<i>Cestrum laevigatum</i> Schlecht.	arbusto	comum	-----
	<i>Solanum juripeba</i> Rich.	arbusto	comum	-----
Sterculiaceae				
	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	árvore	comum	-----
	<i>Sterculia elata</i> Ducke	árvore	abundante	-30,52

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

#### LEVANTAMENTO BOTÂNICO (CA-C)

Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Boraginaceae				
	<i>Heliotropium indicum</i> L.	erva	comum	-----
Convolvulaceae				
	<i>Ipomoea asarifolia</i> Roem. & Schult.	erva	comum	-28,92*
Cyperaceae				
	<i>Cyperus luzulae</i> Rottl.ex Willd	erva	abundante	-26,00*
	<i>Cyperus surinamensis</i> Rottb.	erva	abundante	-34,28*
Fabaceae				
	<i>Mimosa dormiens</i> Humb. & Bonpl.ex Willd.	erva	comum	-29,79*
Poaceae				
	<i>Axonopus purpusii</i> Chase	erva	comum	-14,48*
	<i>Panicum</i> sp.	erva	abundante	-----
	<i>Panicum laxum</i> Sw.	erva	abundante	-27,66*
	<i>Panicum rudgei</i> Roem.	erva	abundante	-27,12*
	<i>Paspalum pulchellum</i> H.B. & K	erva	abundante	-12,42*

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

LEVANTAMENTO BOTÂNICO (CA-F)				
Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Anacardiaceae				
	<i>Spondias mombin</i> Jacq.	árvore	raro	-----
Annonaceae				
	<i>Unonopsis guatterioides</i> (A.DC.) R.E.Fries	árvore	abundante	-----
Apocynaceae				
	<i>Couma guianensis</i> Aubl.	árvore	raro	-----
Araceae				
	<i>Dieffenbachia seguine</i> Baill.	erva	comum	-----
	<i>Philodendron megalophyllum</i> Schott	epífita	comum	-----
Arecaceae				
	<i>Astrocaryum vulgare</i> Mart.	estipe	abundante	-31,28*
Bromeliaceae				
	<i>Guzmania lingulata</i> Mez	epífita	comum	-15,93*
Burseraceae				
	<i>Protium trifoliolatum</i> Engl.	árvore	raro	-----
Cactaceae				
	<i>Epiphyllum phyllanthus</i> (L.) Haw.	epífita	comum	-----
Celastraceae				
	<i>Salacia elliptica</i> G.Don	cipó	comum	-----
Chrysobalanaceae				
	<i>Licania apetala</i> Fritsch	árvore	comum	-31,87*
	<i>Licania licaniaeflora</i> Blake	árvore	abundante	-31,89
Clusiaceae				
	<i>Platonia insignis</i> Mart.	árvore	raro	-----
Dilleniaceae				
	<i>Dollicarpus dentatus</i> Standley	cipó	comum	-----
Fabaceae				
	<i>Andira inermis</i> (Wright) DC.	árvore	comum	-----
	<i>Andira retusa</i> H.B. & K.	árvore	raro	-----
	<i>Derris pterocarpus</i> (DC.) Killip	cipó	raro	-34,65*
	<i>Inga grandiflora</i> Ducke	árvore	comum	-31,36*
	<i>Inga ingoides</i> Willd.	árvore	comum	-----
Flacourtiaceae				
	<i>Casearea arborea</i> Urb.	árvore	raro	-----
	<i>Casearia pitumba</i> DC.	árvore	raro	-----
Lecythidaceae				
	<i>Eschweilera ovata</i> Mart ex Miers	árvore	abundante	-32,11
	<i>Gustavia augusta</i> Linn.	árvore	abundante	-33,83*
Melastomataceae				
	<i>Miconia affinis</i> DC.	arbusto	comum	-30,41
	<i>Miconia prasina</i> (Sw.) DC.	arbusto	comum	-32,93
	<i>Mouriri grandiflora</i> DC.***	árvore	comum	-----
	<i>Mouriri trunciflora</i> Ducke	árvore	comum	-----
Moraceae				
	<i>Ficus amazonica</i> Miq.	árvore	comum	-29,27*
Myrsinaceae				

	<i>Ardisia</i> sp.	arbusto	comum	-----
Piperaceae				
	<i>Piper colubrinum</i> Link	arbusto	comum	-34,26
Poaceae				
	<i>Olyra longifolia</i> H.B. & K.	erva	comum	-32,54*
Polygalaceae				
	<i>Moutabea guianensis</i> Aubl.	cipó	comum	-32,74
	<i>Coccoloba latifolia</i> Lam.	árvore	comum	-32,61*
Rubiaceae				
	<i>Alibertia edulis</i> A.Rich.	árvore	comum	-29,80*
	<i>Faramea occidentalis</i> A.Rich.	arbusto	comum	-33,50
	<i>Randia spinosa</i> Karst.	arbusto	comum	-----
Sapindaceae				
	<i>Toulicia guianensis</i> Aubl.	árvore	abundante	-27,82
Simaroubaceae				
	<i>Simaba multiflora</i> A.Juss.***	árvore	comum	-29,87*
Smilacaceae				
	<i>Smilax santaremensis</i> A.DC.	cipó	comum	-28,05*
Sterculiaceae				
	<i>Sterculia elata</i> Ducke	árvore	comum	-30,52*
Trigonaceae				
	<i>Trigonía killipii</i> Macbride	cipó	comum	-33,01
Viscaceae				
	<i>Phoradendron crassifolium</i> Nutt.	epífita	comum	-----
Vitaceae				
	<i>Vitex flavescens</i> Rolfe	árvore	raro	-----
	<i>Vitex imiflora</i> Vahl.***	árvore	comum	-----

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

#### LEVANTAMENTO BOTÂNICO (C-CAM)

Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Anacardiaceae				
	<i>Anacardium microcarpum</i> Ducke	árvore	comum	-28,89
Apocynaceae				
	<i>Odontadenia geminata</i> Muell.Arg.	cipó	comum	-----
Bignoniaceae				
	<i>Memora magnifica</i> Bureau ex Warm.	cipó	comum	-28,64
	<i>Tabebuia serratifolia</i> Nichols.	árvore	comum	-27,35
Cyperaceae				
	<i>Scleria bracteata</i> Cav.	erva	comum	-29,85
Dilleniaceae				
	<i>Curatella americana</i> Linn.	árvore	comum	-27,78
Fabaceae				
	<i>Galactia jussiaeana</i> Kunth	cipó	comum	-29,22
Heliconiaceae				
	<i>Heliconia psittacorum</i> Linn.f.	erva	comum	-27,83

Malpighiaceae				
	<i>Byrsonima crassifolia</i> H.B. & K.	árvore	abundante	-29,18
	<i>Byrsonima glazioviana</i> Niedenzu***	arbusto	comum	-29,01
	<i>Byrsonima verbascifolia</i> Rich.ex Juss.	arbusto	abundante	-29,58
Moraceae				
	<i>Ficus trigona</i> Linn.f.	árvore	raro	-29,40
Myrtaceae				
	<i>Myrcia cuprea</i> Kiaersk.	árvore	comum	-33,05
Poaceae				
	<i>Andropogon selloanus</i> Hack.	erva	abundante	-11,84
	<i>Axonopus purpusii</i> Chase	erva	abundante	-11,80
	<i>Paspalum pulchellum</i> H.B. & K.	erva	abundante	-12,42
Sapotaceae				
	<i>Pouteria ramiflora</i> Radlk.	árvore	comum	-28,89
Smilacaceae				
	<i>Smilax santaremensis</i> A.DC.	cipó	raro	-28,06
Vitaceae				
	<i>Vitex flavescens</i> Rolfe	árvore	raro	-27,54

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

#### LEVANTAMENTO BOTÂNICO (TU-F)

Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Apocynaceae				
	<i>Ambelania acida</i> Aubl.	árvore	comum	-----
Arecaceae				
	<i>Astrocaryum gynacanthum</i> Mart.	estipe	comum	-----
Burseraceae				
	<i>Trattinnickia rhoifolia</i> Willd	árvore	abundante	-----
Cyperaceae				
	<i>Scleria tenella</i> Griseb.	erva	abundante	-----
Dilleniaceae				
	<i>Dollicarpus dentatus</i> Standley	cipó	abundante	-----
Euphorbiaceae				
	<i>Conceveiba guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-32,25
	<i>Mabea speciosa</i> Muell.Arg.	árvore	comum	-35,80
	<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-----
Fabaceae				
	<i>Acácia altiscandens</i> Ducke	cipó	abundante	-----
	<i>Derris floribunda</i> (Benth.) Ducke.	cipó	abundante	-----
	<i>Inga alba</i> Willd.	árvore	comum	-----
	<i>Inga stipularis</i> DC.	árvore	comum	-----
	<i>Inga thibaudiana</i> DC.	árvore	comum	-----
	<i>Ormosia coarctata</i> Jacks.	árvore	raro	-32,52
	<i>Ormosia nobilis</i> Tul.	árvore	comum	-----
Flacourtiaceae				
	<i>Casearia jaitensis</i> H.B. & K.	árvore	comum	-----
	<i>Laetia Procera</i> Eichl.	árvore	comum	-----

Goupiaceae				
	<i>Coupia glabra</i> Aubl.	árvore	comum	-----
Heliconiaceae				
	<i>Heliconia psittacorum</i> Linn.f.	erva	comum	-----
Hypericaceae				
	<i>Vismia guianensis</i> DC.	árvore	abundante	-----
Lauraceae				
	<i>Nectandra cuspidata</i> Nees	árvore	comum	-32,89
	<i>Ocotea longifolia</i> H.B. & K.	árvore	raro	-----
Lecythidaceae				
	<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	árvore	comum	-----
Marantaceae				
	<i>Ischnosiphon gracilis</i> Koern.	erva	comum	-37,79*
Melastomataceae				
	<i>Clidemia dentata</i> D.Don	erva	abundante	-33,75
	<i>Clidemia hirta</i> D.Don	erva	abundante	-28,95*
	<i>Miconia lepidota</i> DC.	árvore	comum	-32,70
	<i>Miconia minutiflora</i> DC.	árvore	comum	-----
	<i>Miconia pirifolia</i> Naud.	árvore	comum	-----
	<i>Tococa guianensis</i> Aubl.	arbusto	comum	-35,55
Menispermaceae				
	<i>Abuta rufescens</i> Aubl.	cipó	comum	-----
Monimiaceae				
	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-----
Moraceae				
	<i>Brosimum guianense</i> Huber ex Ducke	árvore	raro	-32,78
Poaceae				
	<i>Olyra latifolia</i> Linn.	erva	abundante	-34,49
Rubiaceae				
	<i>Palicourea guianensis</i> Aubl.	árvore	abundante	-----
Selaginellaceae)				
	<i>Selaginella</i> sp	erva	abundante	-33,25
Tiliaceae				
	<i>Apeiba burchellii</i> Sprague	árvore	raro	-----
Urticaceae				
	<i>Cecropia obtusa</i> Trec.	árvore	comum	-----
	<i>Cecropia palmata</i> Willd.	árvore	comum	-----

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

#### LEVANTAMENTO BOTÂNICO (TU-FII)

Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Anacardiaceae				
	<i>Anacardium giganteum</i> Hancock ex Engl.	árvore	raro	-----
	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-36,50*
Annonaceae				
	<i>Fusaea longifolia</i> Safford.	árvore	comum	-----
	<i>Guatteria microcalyx</i> R.E.Fries	árvore		-----

	<i>Guatteria poeppigiana</i> Mart.	árvore	comum	-----
Araliaceae				
	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) B.Maguire	árvore	raro	-----
Arecaceae				
	<i>Bactris</i> sp.	estipe	comum	-----
	<i>Euterpe oleracea</i> Engel	estipe	comum	-----
	<i>Oenocarpus bacaba</i> Mart.	estipe	comum	-----
Bignoniaceae				
	<i>Jacaranda copaia</i> D.Don	árvore	comum	-----
Burseraceae				
	<i>Protium altsoni</i> Sandwith	árvore	comum	-----
	<i>Protium decandrum</i> March.	árvore	comum	-----
	<i>Protium robustum</i> (Swart) D.M.Porter	árvore	raro	-----
	<i>Protium trifoliolatum</i> Engl.	arbusto	comum	-----
Caryocaraceae				
	<i>Caryocar glabrum</i> Pers.	árvore	comum	-----
Celastraceae				
	<i>Salacia cauliflora</i> A.C.Smith	cipó	comum	-----
Chrysobalanaceae				
	<i>Licania apetala</i> Fritsch	arbusto	comum	-----
	<i>Licania octandra</i> Kuntze	árvore	raro	-----
Clusiaceae				
	<i>Symphonia globulifera</i> Linn.f.	árvore	raro	-30,99*
Combretaceae				
	<i>Buchenavia parvifolia</i> Ducke	árvore	raro	-----
Elaeocarpaceae				
	<i>Sloanea grandiflora</i> Sm.	árvore	comum	-----
Euphorbiaceae				
	<i>Conceveiba guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-32,25*
	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-----
	<i>Mabea speciosa</i> Muell.Arg.	arbusto	comum	-35,80*
Fabaceae				
	<i>Bauhinia guianensis</i> Aubl.	cipó	comum	-----
	<i>Inga alba</i> Willd.	árvore	abundante	-----
	<i>Inga grandiflora</i> Ducke	árvore	comum	-31,36*
	<i>Parkia gigantocarpa</i> Ducke	árvore	comum	-----
	<i>Parkia ulei</i> Kuhl.	árvore	comum	-----
	<i>Pentaclethra maculoba</i> Kuntze	árvore	raro	-----
	<i>Sclerolobium paraense</i> Huber	árvore	raro	-----
	<i>Tachigali myrmecophila</i> Ducke	árvore	comum	-----
	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	árvore	raro	-----
Goupiaceae				
	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	árvore	comum	-----
Heliconiaceae				
	<i>Heliconia psittacorum</i> Linn.f.	erva	abundante	-----
Humiriaceae				
	<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth.	árvore	comum	-----
Icacinaceae				
	<i>Poraqueiba guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-34,06*

Lauraceae				
	<i>Nectandra cuspidata</i> Ness	arbusto	comum	-32,89*
	<i>Ocotea caudata</i> Mez	arbusto	comum	-----
Lecythidaceae				
	<i>Eschweilera coriacea</i> (A.P.de Candolle) S.A.Mori	árvore	comum	-----
	<i>Eschweilera pedicellata</i> (Richard) S.A.Mori	árvore	comum	-----
	<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	árvore	comum	-----
Linaceae				
	<i>Hebepetalum humiriifolium</i> (Planch.) Jackson	árvore	raro	-----
Marantaceae				
	<i>Ischnosiphon gracilis</i> Koern.	erva	abundante	-37,79*
	<i>Ischnosiphon obliquus</i> Koern.	erva	abundante	-----
Melastomataceae				
	<i>Miconia ceramicarpa</i> Cogn.	arbusto	abundante	-----
	<i>Miconia lepidota</i> DC.	árvore	comum	-32,70*
	<i>Miconia pyrifolia</i> Naud.	árvore	comum	-34,48*
	<i>Mouriri nervosa</i> Pilg.	árvore	raro	-38,34*
	<i>Tococa guianensis</i> Aubl.	arbusto	abundante	-----
Moraceae				
	<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	árvore	raro	-----
	<i>Clarisia ilicifolia</i> (Spreng.) Lanj. & Rossb.	árvore	comum	-----
	<i>Perebea guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-----
Myrtaceae				
	<i>Marlierea umbraticola</i> Berg	arbusto	comum	-----
	<i>Myrcia fallax</i> DC.	árvore	comum	-----
	<i>Myrcia sylvatica</i> DC.	arbusto	comum	-----
Proteaceae				
	<i>Panopsis rubescens</i> Pittier	árvore	comum	-----
Rubiaceae				
	<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-----
Sapotaceae				
	<i>Chrysophyllum cuneifolium</i> A.DC.	árvore	raro	-----
	<i>Pouteria venosa</i> (Mart.) Baehni	árvore	raro	-----
Sterculiaceae				
	<i>Theobroma subincana</i> Mart.	árvore	comum	-----
Urticaceae				
	<i>Pourouma mollis</i> Trec.	árvore	abundante	-----
Violaceae				
	<i>Rinorea guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	arbusto	raro	-----
	<i>Rinorea racemosa</i> Kuntze	árvore	comum	-----
Vochysiaceae				
	<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	árvore	raro	-----
	<i>Vochysia inundata</i> Ducke	árvore	comum	-----

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

LEVANTAMENTO BOTÂNICO (PC-F)				
Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Anacardiaceae				
	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-36,50
Annonaceae				
	<i>Duguetia pycnastera</i> Sandwith	arbusto	abundante	-----
	<i>Fusaea longifolia</i> Safford.	árvore	comum	-----
	<i>Guatteria microcalyx</i> R.E.Fries	árvore	abundante	-----
Apocynaceae				
	<i>Ambelania acida</i> Aubl.	árvore	comum	-----
Araliaceae				
	<i>Schefflera paraensis</i> Huber	árvore	comum	-----
Arecaceae				
	<i>Astrocaryum gynacanthum</i> Mart.	estipe	abundante	-----
	<i>Astrocaryum jauari</i> Mart.	estipe	abundante	-----
	<i>Euterpe oleracea</i> Engel	estipe	comum	-32,57*
	<i>Oenocarpus bacaba</i> Mart.	estipe	comum	-----
Bombacaceae				
	<i>Eriotheca longipedicellata</i> (Ducke) A.Robyns	árvore	raro	-----
Bignoniaceae				
	<i>Jacaranda copaia</i> D.Don	árvore	comum	-----
Burseraceae				
	<i>Protium altsoni</i> Sandwith	árvore	comum	-----
	<i>Protium apiculatum</i> Swart	árvore	comum	-----
	<i>Protium pallidum</i> Cuatrec.	árvore	abundante	-----
Caryocaraceae				
	<i>Caryocar glabrum</i> Pers.	árvore	comum	-----
Chrysobalanaceae				
	<i>Licania canescens</i> Benoist	árvore	comum	-----
	<i>Licania heteromorpha</i> Benth.	árvore	comum	-----
	<i>Licania macrophylla</i> Benth.	árvore	comum	-----
	<i>Parinari rodolphi</i> Huber	árvore	raro	-----
Clusiaceae				
	<i>Symphonia globulifera</i> Linn.f.	árvore	comum	-30,99*
Dilleniaceae				
	<i>Dollicarpus dentatus</i> Standley	cipó	comum	-----
Elaeocarpaceae				
	<i>Sloanea brevipes</i> Benth.	árvore	comum	-----
	<i>Sloanea guianensis</i> Benth.	árvore	comum	-----
	<i>Sloanea grandiflora</i> Sm.	árvore	comum	-----
Euphorbiaceae				
	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-----
	<i>Mabea speciosa</i> Muell.Arg.	árvore	comum	-35,80*
	<i>Sagotia racemosa</i> Baill.	árvore	comum	-----
Fabaceae				
	<i>Abarema jupunba</i> (Willd.) Britton & Killip	árvore	comum	-----
	<i>Derris floribunda</i> (Benth.) Ducke.	cipó	abundante	-----
	<i>Dipteryx odorata</i> Willd.	árvore	abundante	-----

	<i>Hymenaea reticulata</i> Ducke	árvore	raro	-----
	<i>Inga alba</i> Willd.	árvore	comum	-----
	<i>Inga disticha</i> Benth.	árvore	raro	-----
	<i>Inga stipularis</i> DC.	árvore	comum	-35,05
	<i>Inga thibaudiana</i> DC.	árvore	comum	-----
	<i>Ormosia coutinhoi</i> Ducke	árvore	comum	-34,13
	<i>Parkia gigantocarpa</i> Ducke	árvore	comum	-----
	<i>Tachigali myrmecophila</i> Ducke	árvore	comum	-----
	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	árvore	comum	-----
Gentianaceae				
	<i>Potalia amara</i> Aubl.	arbusto	comum	-----
Goupiaceae				
	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	árvore	comum	-----
Heliconiaceae				
	<i>Heliconia psittacorum</i> Linn.f.	erva	abundante	-----
Icacinaceae				
	<i>Poraqueiba guianensis</i> Aubl.	árvore	abundante	-34,06
Lauraceae				
	<i>Endlicheria williamsii</i> O.C.Schmidt	árvore	raro	-----
Lauraceae				
	<i>Licaria guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-----
	<i>Nectandra cuspidata</i> Nees	arbusto	comum	-32,89*
Lecythidaceae				
	<i>Eschweilera coriacea</i> (A.P.de Candolle) S.A.Mori	árvore	comum	-----
Linaceae				
	<i>Hebepetalum humiriifolium</i> (Planch.) Jackson	árvore	comum	-----
Marantaceae				
	<i>Ischnosiphon gracilis</i> Koern.	erva	abundante	-37,79
	<i>Ischnosiphon obliquus</i> Koern.	erva	comum	-----
Melastomataceae				
	<i>Clidemia hirta</i> D.Don	arbusto	comum	-28,95*
	<i>Miconia ceramicarpa</i> Cogn.	erva	comum	-----
	<i>Miconia gratissima</i> Benth.ex Triana	arbusto	comum	-----
	<i>Miconia lepidota</i> DC.	árvore	comum	-32,70*
	<i>Miconia prasina</i> DC.	arbusto	comum	-----
	<i>Miconia pyrifolia</i> Naud.	árvore	abundante	-34,48
	<i>Mouriri nervosa</i> Pilg.	árvore	comum	-38,34
	<i>Mouriri trunciflora</i> Ducke	árvore	comum	-----
	<i>Tococa guianensis</i> Aubl.	erva	comum	-35,55*
Menispermaceae				
	<i>Abuta rufescens</i> Aubl.	cipó	comum	-----
Monimiaceae				
	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-----
Moraceae				
	<i>Brosimum guianense</i> Huber ex Ducke	árvore	raro	-32,78*
	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	árvore	raro	-----
Myristicaceae				
	<i>Iryanthera juruensis</i> Warb.	árvore	comum	-----

	<i>Virola surinamenses</i> Warb.	árvore	raro	-----
Myrtaceae				
	<i>Myrciaria floribunda</i> Berg	arbusto	raro	-----
	<i>Myrcia sylvatica</i> DC.	arbusto	comum	-----
Quiinaceae				
	<i>Lacunaria crenata</i> (Tul.) A.C.Smith	árvore	comum	-----
Rapateaceae				
	<i>Rapatea paludosa</i> Aubl.	erva	abundante	-----
Rubiaceae				
	<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.	árvore	comum	-----
	<i>Psychotria iodotricha</i> Muell.Arg.	arbusto	comum	-----
	<i>Psychotria pacimonica</i> Muell.Arg.	arbusto	comum	-----
Sapindaceae				
	<i>Talisia cupularis</i> Radlk.	árvore	raro	-----
Sapotaceae				
	<i>Chrysophyllum cuneifolium</i> A.DC.	árvore	raro	-----
	<i>Manilkara amazonica</i> (Huber) Standley	árvore	raro	-----
	<i>Micropholis caudata</i> T.D.Penn.	árvore	comum	-----
Ulmaceae				
	<i>Ampelocera edentula</i> Kuhlms.	árvore	comum	-----
Urticaceae				
	<i>Cecropia distachya</i> Huber	árvore	comum	-----
	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	árvore	comum	-----
	<i>Pourouma mollis</i> Trec.	árvore	abundante	-----
Violaceae				
	<i>Rinorea racemosa</i> Kuntze	árvore	comum	-----
Vochysiaceae				
	<i>Qualea albiflora</i> Warm.	árvore	comum	-----
	<i>Vochysia inundata</i> Ducke	árvore	abundante	-----

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

LEVANTAMENTO BOTÂNICO (TG)				
Família	Gênero e espécie	Tipo	Ocorrência	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Acanthaceae				
	<i>Ruellia</i> sp.	erva		-----
Bignoniaceae				
	<i>Arrabidaea</i> sp.	cipó		-27,62
	<i>Tabebuia serratifolia</i> Nichols.	árvore		-25,87
Cyperaceae				
	<i>Rhynchospora barbata</i> (Vahl) Kunth***	erva		-----
	<i>Rhynchospora cephalotes</i> Vahl**	erva		-----
	<i>Rhynchospora puberula</i> (Boeckl.) L.B.Smith	erva		-----
	<i>Scleria tenella</i> Griseb.	erva		-----
Dilleniaceae				
	<i>Curatella americana</i> Linn.	árvore		-28,92

Erythroxylaceae			
	<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.Hil.	erva	-----
Fabaceae			
	<i>Entada polyphylla</i> Benth.	cipó	-29,54*
	<i>Vigna linearis</i> (H.B. & K.) R.Marechal	erva	-----
	<i>Vigna longifolia</i> (Benth.) Verdc.	erva	-11,07
Lamiaceae			
	<i>Hyptis crenata</i> Pohl	erva	-31,85
Malpighiaceae			
	<i>Byrsonima crassifolia</i> H.B. & K.	árvore	-27,77
Poaceae			
	<i>Axonopus purpusii</i> Chase	erva	-14,48*
	<i>Imperata brasiliensis</i> Trin.	erva	-----
	<i>Leptocoryphium lanatum</i> Nees	erva	-11,67

\* resultado extraído de outro ponto de estudo na Ilha de Marajó.

## *Apêndice D*

*Análise isotópica do  
carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e COT*

CARBONO								
prof. (cm)	MOC-C		MOC-F		MOC-TC		MOC-TF	
	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)						
0-10	1,90	-21,72	2,16	-28,08	0,94	-23,90	1,28	-24,57
10-20	0,68	-20,82	1,58	-27,75	0,74	-22,22	0,94	-22,16
20-30	0,34	-20,20	0,99	-26,92	0,67	-21,85	0,70	-20,01
30-40	0,19	-20,62	0,48	-24,06	0,29	-21,23	0,59	-20,11
40-50	0,17	-20,70	0,42	-24,26	0,20	-20,61	0,37	-19,48
50-60	0,14	-20,64	0,35	-24,24	0,17	-20,79	0,24	-18,93
60-70	0,13	-21,44	0,35	-25,19	0,07	-20,23	0,17	-18,49
70-80	0,11	-21,71	0,22	-25,05	0,09	-20,21	0,14	-18,54
80-90	0,11	-22,86	0,19	-25,29	0,07	-20,07	0,13	-19,52
90-100	0,11	-23,07	0,15	-25,73	0,05	-19,66	0,10	-20,48
100-110	0,11	-23,63	0,12	-25,76	0,04	-20,08	0,11	-21,46
110-120	0,10	-24,15	0,09	-24,50	0,04	-20,93	0,05	-21,80
120-130	0,08	-24,21	0,07	-25,76	0,02	-21,68	0,08	-22,49
130-140	0,11	-25,00	0,07	-26,68	0,02	-21,87	0,05	-22,53
140-150	0,10	-25,06	0,06	-25,97	0,02	-22,65	0,04	-23,92
150-160	0,16	-25,44	0,06	-27,47	0,03	-22,84	0,02	-23,31
160-170	0,37	-26,04	0,04	-27,61	0,02	-22,61	0,03	-23,86
170-180	0,40	-25,92	0,04	-26,36	0,02	-23,72	0,03	-23,88
180-190	0,45	-26,06	0,05	-25,82	0,02	-23,64	0,02	-24,01
190-200	1,39	-14,57	0,05	-25,18	0,02	-22,78	0,03	-24,37
200-210	0,66	-24,96	0,05	-26,09	0,03	-23,38	0,03	-23,93
210-220	0,65	-23,33	0,07	-26,78	-----	-----	0,03	-24,28
220-230	0,53	-26,00	0,12	-26,24	-----	-----	0,43	-27,21
230-240	0,57	-25,54	0,07	-25,41	-----	-----	0,14	-26,58
240-250	0,63	-25,46	0,14	-25,52	-----	-----	0,09	-26,03
250-260	0,73	-25,83	0,60	-23,96	-----	-----	0,09	-25,90
260-270	0,83	-26,09	0,10	-22,11	-----	-----	0,06	-25,41
270-280	0,78	-26,58	0,18	-25,13	-----	-----	0,08	-25,73
280-290	0,81	-26,57	0,68	-24,93	-----	-----	0,09	-25,37
290-300	1,29	-27,01	0,74	-20,42	-----	-----	0,08	-25,32
300-310	-----	-----	0,19	-25,85	-----	-----	0,05	-24,65
310-320	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,07	-25,12
320-330	0,85	-27,32	-----	-----	-----	-----	0,04	-23,33
330-340	1,29	-27,68	-----	-----	-----	-----	-----	-----
340-350	0,9	-27,22	-----	-----	-----	-----	-----	-----
350-360	0,98	-27,05	-----	-----	-----	-----	-----	-----

CARBONO								
prof. (cm)	C-CAT		C-BAT		C-CRUZ		C-AE	
	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)						
0-10	1,63	-19,18	2,01	-22,21	2,23	-20,33	2,73	-18,47
10-20	1,18	-19,26	1,41	-22,12	1,70	-19,98	2,5	-18,71
20-30	1,31	-19,92	0,85	-21,83	1,45	-19,61	0,54	-17,67
30-40	0,94	-19,89	0,67	-22,04	0,82	-18,84	1,29	-18,5
40-50	1,19	-20,53	0,77	-22,74	0,43	-19,08	1,00	-19,37
50-60	0,46	-20,44	0,42	-23,11	0,22	-19,37	1,02	-20,65
60-70	0,28	-20,56	0,27	-22,64	0,17	-20,06	0,60	-20,88
70-80	0,20	-21,51	0,2	-23,64	0,12	-21,22	0,30	-19,42
80-90	0,12	-21,73	0,18	-23,35	0,12	-21,81	0,14	-19,29
90-100	0,19	-21,93	0,14	-23,75	0,10	-22,46	0,13	-20,79
100-110	0,21	-22,29	0,14	-23,69	0,11	-22,71	0,18	-19,61
110-120	0,10	-22,71	0,16	-24,38	0,16	-23,13	0,08	-22,17
120-130	0,20	-21,87	0,15	-24,52	0,17	-23,41	-----	-----
130-140	-----	-----	0,22	-24,78	0,20	-24,27	0,10	-23,09
140-150	0,13	-22,69	0,25	-25,46	0,22	-24,46	0,09	-23,11
150-160	0,15	-23,81	0,43	-25,87	0,29	-24,95	0,09	-23,62
160-170	0,16	-24,28	0,71	-26,40	-----	-----	0,09	-23,84
170-180	-----	-----	0,89	-26,40	0,45	-25,63	0,09	-23,87
180-190	0,29	-24,65	1,64	-27,23	0,41	-25,03	0,09	-24,73
190-200	0,28	-22,42	1,45	-27,10	0,44	-25,11	0,11	-24,70
200-210	0,30	-23,51	0,99	-27,02	0,45	-24,06	0,13	-25,04
210-220	-----	-----	1,53	-27,13	0,48	-24,47	0,17	-25,99
220-230	-----	-----	1,93	-----	0,65	-25,31	0,20	-25,34
230-240	-----	-----	1,05	-23,68	-----	-----	0,47	-21,57
240-250	-----	-----	0,23	-24,89	0,52	-24,27	0,33	-22,82
250-260	-----	-----	0,21	-21,77	0,49	-25,19	0,37	-23,58
260-270	-----	-----	0,26	-19,06	-----	-----	0,33	-23,21
270-280	-----	-----	0,19	-20,66	0,48	-25,12	-----	-----
280-290	-----	-----	0,42	-16,73	0,51	-25,05	-----	-----
290-300	-----	-----	0,45	-17,18	0,52	-24,57	-----	-----
300-310	-----	-----	0,21	-19,36	0,52	-24,93	-----	-----
310-320	-----	-----	0,15	-23,76	-----	-----	-----	-----
320-330	-----	-----	0,22	-25,24	-----	-----	-----	-----
330-340	-----	-----	0,27	-25,54	-----	-----	-----	-----
340-350	-----	-----	0,44	-25,72	-----	-----	-----	-----
350-360	-----	-----	0,7	-26,13	-----	-----	-----	-----
360-370	-----	-----	0,54	-25,64	-----	-----	-----	-----
370-380	-----	-----	0,55	-25,64	-----	-----	-----	-----
380-390	-----	-----	0,66	-25,89	-----	-----	-----	-----
390-400	-----	-----	0,6	-25,87	-----	-----	-----	-----

CARBONO								
prof. (cm)	CA-IM		CA-C		CA-F		C-CAM	
	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)						
0-10	0,88	-26,66	1,06	-18,72	1,01	-26,64	1,65	-18,26
10-20	0,77	-24,81	0,92	-18,49	0,88	-25,69	1,37	-18,02
20-30	0,65	-22,82	0,74	-17,30	0,54	-23,85	1,17	-18,29
30-40	0,42	-21,01	0,71	-16,69	0,48	-21,71	0,74	-18,21
40-50	0,37	-21,40	0,63	-15,51	0,46	-19,72	0,51	-17,99
50-60	0,28	-21,15	0,60	-14,94	0,35	-18,81	0,45	-18,56
60-70	0,25	-21,13	0,60	-14,87	0,30	-19,65	0,44	-19,07
70-80	0,28	-21,72	0,55	-15,33	0,31	-19,05	0,45	-19,33
80-90	0,22	-21,05	1,98	-16,11	0,28	-19,93	0,46	-19,67
90-100	0,22	-21,30	0,09	-15,40	0,3	-20,21	0,31	-20,38
100-110	0,21	-21,56	0,07	-15,53	0,2	-20,46	0,25	-20,69
110-120	0,15	-21,84	0,06	-16,07	0,22	-21,79	0,22	-21,64
120-130	0,13	-22,49	0,06	-16,79	0,15	-22,00	0,26	-21,11
130-140	0,14	-23,14	0,06	-16,96	0,15	-22,49	0,26	-21,53
140-150	0,13	-24,08	0,07	-17,62	0,14	-22,74	-----	-----
150-160	0,12	-24,62	0,07	-17,87	-----	-----	-----	-----
160-170	0,11	-24,45	0,08	-18,11	0,10	-23,81	-----	-----
170-180	0,11	-24,87	0,09	-18,62	0,08	-24,62	-----	-----
180-190	0,08	-25,37	0,08	-19,26	0,08	-26,38	-----	-----
190-200	0,05	-25,32	0,09	-20,06	0,06	-26,01	-----	-----
200-210	0,06	-25,56	0,08	-19,86	0,05	-26,34	-----	-----
210-220	0,04	-25,97	-----	-----	0,06	-26,04	-----	-----
220-230	0,03	-26,35	-----	-----	0,06	-26,39	-----	-----
230-240	0,04	-26,44	-----	-----	0,05	-27,40	-----	-----
240-250	0,03	-27,07	-----	-----	0,05	-27,76	-----	-----
250-260	0,03	-27,44	-----	-----	0,05	-27,11	-----	-----
260-270	0,03	-27,70	-----	-----	0,05	-27,66	-----	-----
270-280	0,04	-27,33	-----	-----	0,04	-27,53	-----	-----
280-290	0,05	-27,60	-----	-----	0,05	-26,65	-----	-----
290-300	0,04	-28,46	-----	-----	0,04	-25,79	-----	-----
300-310	0,04	-28,78	-----	-----	0,04	-26,20	-----	-----
310-320	0,03	-29,4	-----	-----	0,04	-27,56	-----	-----
320-330	0,03	-28,63	-----	-----	-----	-----	-----	-----
330-340	0,02	-27,2	-----	-----	-----	-----	-----	-----
340-350	0,02	-26,13	-----	-----	-----	-----	-----	-----
350-360	0,01	-26,05	-----	-----	-----	-----	-----	-----

CARBONO								
prof. (cm)	TG		TU-F		TU-F II		PC-F	
	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)						
0-10	1,07	-17,31	1,87	-28,62	1,7	-28,35	0,60	-28,99
10-20	0,89	-16,68	1,27	-28,26	1,27	-27,93	0,43	-28,80
20-30	0,40	-15,94	0,89	-27,72	1,04	-27,67	0,77	-28,45
30-40	0,32	-16,17	0,82	-27,21	0,71	-27,19	1,76	-27,90
40-50	0,21	-18,52	0,85	-27,19	0,46	-26,66	1,31	-27,74
50-60	0,18	-18,62	0,78	-26,78	0,41	-26,57	1,60	-27,53
60-70	0,16	-20,80	0,81	-26,74	0,30	-26,34	1,06	-24,44
70-80	0,15	-21,38	0,78	-26,64	0,24	-26,29	1,18	-27,49
80-90	0,13	-22,39	0,67	-26,14	0,30	-26,77	1,18	-27,41
90-100	0,12	-23,08	0,53	-26,00	0,40	-27,4	0,86	-27,34
100-110	0,10	-23,64	0,39	-25,88	-----	-----	0,60	-26,82
110-120	0,09	-23,66	0,26	-25,96	-----	-----	0,63	-26,77
120-130	0,10	-23,25	0,18	-25,86	-----	-----	0,71	-26,78
130-140	0,08	-24,64	0,17	-26,06	-----	-----	1,24	-26,07
140-150	0,08	-24,47	0,17	-26,34	-----	-----	1,28	-25,60
150-160	0,07	-25,17	0,17	-26,32	-----	-----	1,41	-25,23
160-170	0,07	-25,44	0,13	-26,80	-----	-----	1,19	-25,40
170-180	0,07	-26,03	0,12	-27,12	-----	-----	0,86	-25,94
180-190	0,07	-27,02	0,12	-27,95	-----	-----	0,75	-26,97
190-200	0,07	-26,71	0,13	-27,44	-----	-----	0,19	-26,73
200-210	0,07	-26,07	0,12	-27,58	-----	-----	0,17	-26,77
210-220	0,07	-26,51	0,06	-27,94	-----	-----	0,14	-26,62
220-230	0,08	-26,58	0,08	-27,72	-----	-----	0,16	-26,81
230-240	0,09	-26,82	0,06	-27,81	-----	-----	0,15	-27,10
240-250	0,08	-27,02	0,09	-27,70	-----	-----	0,10	-27,19
250-260	0,09	-26,88	-----	-----	-----	-----	0,10	-26,68
260-270	0,09	-26,54	-----	-----	-----	-----	0,16	-27,16
270-280	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,10	-26,71
280-290	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,07	-26,70
290-300	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,06	-26,72
300-310	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,07	-26,98
310-320	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,05	-26,40
320-330	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,05	-26,38
330-340	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,06	-26,71
340-350	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,05	-26,56
350-360	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
360-370	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,04	-26,68
370-380	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,03	-26,07
380-390	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,03	-26,46

## *Apêndice E*

*Análise isotópica do  
nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) e N-total*

NITROGÊNIO						
prof. (cm)	MOC-F		C-BAT		C-AE	
	N-Total (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	N-total (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	N-total (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
0-10	0,23	4,30	0,27	2,17	0,28	3,56
10-20	0,17	4,79	-----	-----	-----	-----
20-30	-----	-----	0,12	3,31	0,09	4,51
30-40	0,06	6,06	-----	-----	-----	-----
40-50	-----	-----	0,11	2,94	0,14	3,69
50-60	0,05	6,12	-----	-----	-----	-----
60-70	-----	-----	0,05	3,98	0,08	3,52
70-80	0,03	5,53	-----	-----	-----	-----
80-90	-----	-----	0,04	4,43	0,04	5,93
90-100	0,03	5,51	-----	-----	-----	-----
100-110	-----	-----	0,03	4,13	0,05	5,21
110-120	0,02	5,71	-----	-----	-----	-----
120-130	-----	-----	0,03	4,83	-----	-----
130-140	0,02	4,93	-----	-----	0,04	6,99
140-150	-----	-----	0,04	4,65	0,03	6,71
150-160	0,02	4,03	-----	-----	-----	-----
160-170	-----	-----	0,05	3,69	0,03	7,30
170-180	0,01	1,17	-----	-----	-----	-----
180-190	-----	-----	0,03	2,10	0,02	8,11
190-200	0,01	1,18	-----	-----	-----	-----
200-210	-----	-----	0,05	3,62	0,02	7,19
210-220	0,01	3,89	-----	-----	-----	-----
220-230	-----	-----	0,11	3,66	0,02	8,39
230-240	0,01	2,57	-----	-----	-----	-----
240-250	-----	-----	0,08	5,42	0,03	6,85
250-260	0,03	4,00	-----	-----	-----	-----
260-270	0,01	1,62	0,03	4,85	0,03	6,09
270-280	0,01	1,45	-----	-----	-----	-----
280-290	-----	-----	0,03	6,46	-----	-----
290-300	0,01	-0,28	-----	-----	-----	-----
300-310	0,02	1,86	0,02	4,74	-----	-----
310-320	-----	-----	-----	-----	-----	-----
320-330	-----	-----	0,03	4,18	-----	-----
330-340	-----	-----	-----	-----	-----	-----
340-350	-----	-----	0,03	4,13	-----	-----
350-360	-----	-----	-----	-----	-----	-----
360-370	-----	-----	0,03	3,85	-----	-----
370-380	-----	-----	-----	-----	-----	-----
380-390	-----	-----	0,04	3,80	-----	-----
390-400	-----	-----	0,07	5,15	-----	-----