

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
CENTRO DE ESTUDOS GERAIS
INSTITUTO DE QUÍMICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOQUÍMICA AMBIENTAL**

MARINA CABRAL ALVES

**COMPOSIÇÃO E ACUMULAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA
(C, N, LIGNINAS) NOS SEDIMENTOS DO SISTEMA
LAGUNAR MUNDAÚ-MANGUABA, AL-BRASIL.**

**Niterói
2010**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

MARINA CABRAL ALVES

**COMPOSIÇÃO E ACUMULAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA (C, N, LIGNINAS)
NOS SEDIMENTOS DO SISTEMA LAGUNAR MUNDAÚ-MANGUABA, AL-
BRASIL.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre. Área de concentração: Geoquímica Ambiental.

Orientador: **Prof. Dr. Bastiaan Adriaan Knoppers**

Co-Orientador: **Prof. Dr. Marcelo Corrêa Bernardes**

Niterói
2010

A474 Alves, Marina Cabral.

Composição e acumulação da matéria orgânica (C, N, ligninas) nos sedimentos do sistema lagunar Mundaú – Manguaba, AL – Brasil. / Marina Cabral Alves. – Niterói: [s.n.], 2010.

98f. : il ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Geociências - Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense. Or. Prof. Dr. Bastiaan Adriaan Knoppers.

1. Matéria orgânica. 2. Sedimentos. 3. Laguna costeira. 4. Lignina. 5. Dissertação. 6. Produção intelectual. I. Título.

CDD 574.52636

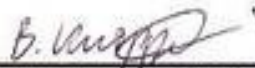
MARINA CABRAL ALVES

**COMPOSIÇÃO E ACUMULAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA (C, N, LIGNINAS)
NOS SEDIMENTOS DO SISTEMA LAGUNAR MUNDAÚ-MANGUABA, AL-
BRASIL.**

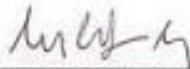
Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do **Grau de Mestre**. Área de concentração: **Geoquímica Ambiental**.

Aprovada em março de 2010.

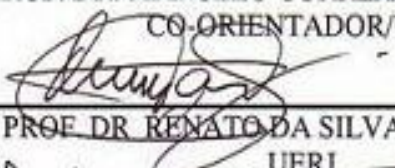
BANCA EXAMINADORA



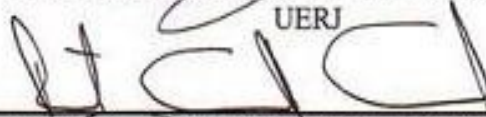
PROF. DR. BASTIAAN ADRIAAN KNOPPERS
ORIENTADOR/UFF



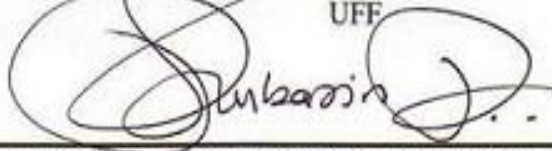
PROF. DR. MARCELO CORREA BERNARDES
CO-ORIENTADOR/UFF



PROF. DR. RENATO DA SILVA CARREIRA
UERJ



PROF. DR. RENATO CAMPELLO CORDEIRO
UFF



PROF. DR. SAMBASIVA RAO PATCHINEELAM
UFF

NITERÓI
2010

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Gislene e Orlando.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela oportunidade deste estudo e enriquecimento da minha formação.

Ao professor Bastiaan Knoppers pela orientação, dedicação, confiança, pelos ensinamentos e pela oportunidade de realizar este trabalho.

Ao professor Marcelo Bernardes pela co-orientação, pelo apoio e pelos ensinamentos fundamentais durante as análises de lignina.

Ao curso de Pós-Graduação em Geoquímica da Universidade Federal Fluminense (UFF), pela possibilidade de ingresso e por toda a infraestrutura fornecida, essencial à realização deste trabalho.

Ao CNPq pela bolsa de estudos, ao projeto POLCAMAR - Acordo Bilateral de Ciência e Tecnologia Brasil-Alemanha MCT/CNPq-BMBF, Área Ciências do Mar, Proc. No. CNPq 590002/2005-8, e ao INCT-TMCOcean, CNPq proc. 573.601/2008-9, pelo apoio financeiro.

Ao professor Paulo Ricardo Petter Medeiros, coordenador regional do Projeto POLCAMAR, LABMAR – UFAL, pela infraestrutura laboratorial e pelo apoio de campo.

Ao professor Sambasiva Rao Patchineelam e ao Dr. Weber Friederichs Landin de Souza, do Instituto Nacional de Tecnologia (INT) - RJ, pela obtenção dos testemunhos.

À mestre (MSc) Gertrud Sporl, do Centro de Ecologia Marinha Tropical (ZMT), Bremen, Alemanha, pelas análises de C/N e $\delta^{13}\text{C}$, e à Viviane Ka Ma pelas análises de granulometria.

À Elisamara Santos e Tiago Miranda pela determinação das taxas de sedimentação.

À Renata Zocatelli e Tatiana Mello pela grande ajuda nas análises de lignina.

À Mariana Nazário e Elisamara Santos por todo o material fornecido, além de me socorrerem em várias dúvidas.

À Nilva Brandini e Daniela Claver pelo companheirismo no laboratório e pela imensa ajuda com a estatística e com a formatação. Muito obrigada pelas dicas! Não sei o que seria dessa dissertação sem vocês!

Aos companheiros do laboratório 409, (minha segunda casa durante boa parte do tempo), Fernanda Savergnini, Leandro Guerra, Marcelo Maciel, Raffaella D'Angelo, Rodrigo Sobrinho, Tatiana Mello e Thiago Rangel pelas risadas e momentos de descontração.

Aos colegas e amigos da Geoquímica: Aline Mansur, Clarissa Araújo, Elizabeth da Costa (Nhanhá), Marcela Cardoso, Mariana Moraes, Marcos Ferreira, Renata Borges, Silvia Lisboa, Suéllen Satyro (Xuxu) e aos demais, pelo companheirismo, pelas cervejas e pela ajuda nos momentos difíceis.

Aos professores e funcionários da Geoquímica, pelos ensinamentos, dicas e auxílio com material bibliográfico.

Aos amigos de hoje e sempre, Ana Carolina, Kelly, Martina, Natália, Stefânia, Yvi, entre outros, mesmo que por vezes distantes, pela força e incentivo, e principalmente pela compreensão da minha ausência em alguns momentos.

Ao Daniel Pizzo pelo amor, carinho, compreensão, amizade e fundamental incentivo na conclusão deste trabalho.

Aos meus pais Gislene e Orlando pelo amor e carinho da vida toda, aos meus irmãos, Bruno e Leandro, e aos meus tios e primos queridos, pela paciência e pelo apoio.

*"Não façás do amanhã o sinônimo de nunca,
nem o ontem te seja o mesmo que nunca mais.*

Teus passos ficaram.

*Olhes para trás... mas vá em frente,
pois há muitos que precisam
que chegues para poderem seguir-te."*

(Charles Chaplin)

RESUMO

O Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM), situado no litoral nordeste do Brasil, vem sofrendo um processo contínuo de degradação ambiental, relacionado principalmente aos efluentes da agroindústria canavieira e ao crescimento urbano desordenado. Traçadores geoquímicos têm sido uma eficiente ferramenta na determinação da origem da matéria orgânica em sedimentos, se alóctone ou autóctone, podendo ser utilizados para identificar possíveis fontes de poluição produzidas por atividades antrópicas, bem como mudanças naturais no ambiente. Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo identificar a origem, transformação e acumulação recente da matéria orgânica nos sedimentos do CELMM. Para tal, cinco testemunhos, dois representando cada laguna, e um fluvial (Rio Mundaú), foram analisados quanto à distribuição vertical dos teores de argila, silte e areia, de carbono orgânico, da razão C/N, do $\delta^{13}\text{C}$ e de ligninas. A distribuição dos parâmetros analisados mostrou que a matéria orgânica sedimentar das lagunas tem origem predominantemente da sua própria produção primária fitoplanctônica. No entanto, a presença de ligninas, mesmo em baixas concentrações, indica a presença de material vegetal alóctone. No Rio Mundaú verificou-se a presença de material proveniente de angiospermas lenhosas, enquanto nas lagunas há grande mistura de angiospermas lenhosas e não lenhosas, sem um padrão claro de distribuição ao longo dos perfis. As razões (Ad/Al)_v demonstraram que as ligninas encontradas possuem certo grau de degradação, contribuindo para uma possível redução na concentração total das mesmas, além de alterações nas razões S/V e C/V. A aplicação do índice LPVI (*Lignin-Phenol Vegetation Index*) para os lignino-fenóis permitiu obter maior clareza a cerca da evolução das fontes de material terrestre para o sistema, de forma que ficou evidente a transição de angiospermas lenhosas, vegetação anteriormente natural na bacia de drenagem, para angiospermas não lenhosas, a partir da expansão da atividade canavieira na região. Além disso, os resultados de acumulação de matéria orgânica nos sedimentos das lagunas demonstram um aumento de produtividade nas camadas mais recentes, como provável consequência dos efeitos da expansão agrícola e urbana no CELMM.

Palavras-chave: matéria orgânica, razão C/N, isótopos de carbono, ligninas, lagunas costeiras.

ABSTRACT

The Mundaú-Manguaba Estuarine-Lagoon System (MMELS), located in northeastern Brazil, has been undergoing a continuous process of environmental degradation, mainly related to the input of effluents from the sugar-cane industry and uncontrolled demographic expansion. Geochemical tracers have been an effective tool in determining allochthonous and autochthonous sources of organic matter in sediments. They have been applied to identify possible sources of pollution produced by human activities and natural changes in the environment. In this context, this study aimed to identify the origin, transformations and recent accumulation of organic matter in the sediments of MMELS. Five short cores, two representing each lagoon and one the fluvial end-member (Mundaú River), were analyzed for the vertical distribution of clay, silt and sand, organic carbon, the C/N ratio, $\delta^{13}\text{C}$ and lignins. The parameters showed that the sedimentary organic matter in the lagoons originated largely from its own phytoplanktonic primary production. However, the presence of lignin, albeit at low concentrations, indicated the presence of allochthonous plant material. In Mundaú River the presence of material derived from woody angiosperms was evident, while the lagoons exhibited a mixture of woody and non-woody materials, without a clear distributional pattern along the vertical profiles. The (Ad/Al)_v ratios showed that the lignins were subject to a certain degree of degradation, contributing to a possible reduction in their total concentration and changes in the lignin-phenol S/V and C/V ratios. The application of the LPVI index (Lignin-Phenol Vegetation Index) for lignin-phenols allowed for a better understanding on the evolution of terrestrial material sources to the system, with a clear transition from woody angiosperms, representing the original vegetation in the drainage basin, to non-woody angiosperms, corroborating the expansion of sugar cane cultivation in the region. In addition, the results of organic matter accumulation in the lagoon's sediments showed an increase of primary productivity in the more recent layers at the top of the cores, likely reflecting the effects of agricultural and urban expansion in MMELS.

Key-words: organic matter, C/N ratio, carbon isotopes, lignins, coastal lagoons.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Ác. - ácido
(Ad/Al)_v – razão ácido/aldeído do grupo fenólico vanilil
AL – Alagoas
ANA – Agência Nacional de Águas
Área eVI_{amostra} - área do pico da *etil vanilina* na amostra
Área eVI_{padrão}: área do pico da *etil vanilina* no padrão.
Área X_{amostra} - área do pico da amostra
Área X_{padrão} - área do pico de um padrão de identificação
Bd – ácido benzóico
BSTFA - N,O-bis(trimetilsilil)-trifluoroacetamida
3,5Bd – ácido 3,5 dihidroxibenzofenona
4,4'Bn – 4,4' dihidroxibenzofenona
C (título) – carbono
C (ligninas) – grupo cinamil
Ca – cálcio
CA – taxa de acumulação
CAM – metabolismo ácido das Crassulaceae
CELMM – Complexo Estarino-Lagunar Mundaú-Manguaba
Cd – ácido p-coumárico (ácido cinâmico)
CHxd – ácido ciclohexacarboxílico
CIC – Concentração Inicial Constante
Cnd – ácido trans-cinâmico
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CO – carbono orgânico
CO₂ – dióxido de carbono
CuO – óxido de cobre
C₃ – plantas do ciclo Calvin-Benson
C₄ – plantas do ciclo Hatch-Slack
C11DA – ácido 1,11-undecanodicarboxílico
C16DA – ácido hexadecano-1,16-dióico (ácido thápsico)
C23MA – ácido tricosanóico
C28MA – ácido octacosanóico (ácido montânico)
C/N – razão carbono/nitrogênio
C/V – razão cinamil/vanilil
12C18MA – ácido 12-hidroxiocadenóico (ácido 12-hidroxiesteárico)
¹²C – isótopo estável do carbono de massa igual a 12
¹³C – isótopo estável do carbono de massa igual a 13
¹³⁷Cs – isótopo do césio de massa igual a 137
DBO – demanda bioquímica de oxigênio
eVI – etil vanilina
Fe(NH₄)₂(SO₄)₂*6H₂O – sulfato amino ferroso hexahidratado
Fd – ácido trans-4-hidroxi, 3-metoxi cinâmico (ácido trans felúrico)
HCl – ácido clorídrico
IRD – Instituto de Radioproteção e Dosimetria
K - potássio
LPVI – “lignin-phenol vegetation index”

mBd – ácido m-hidroxibenzóico (ácido 3-hidroxibenzóico)
meVI_{amostra}: massa da *etil vanilina* na amostra
meVI_{padrão} - massa da *etil vanilina* no padrão
Mg - magnésio
MO – matéria orgânica
MX_{amostra} - massa da amostra
mX_{padrão} - massa de um padrão de identificação
3,4MeOBd - ácido 3,4 dimetoxi benzóico (ácido verátrico)
NaOH – hidróxido de sódio
Na₂SO₄ – sulfato de sódio
NBS – National Bureau of Standards
N₂ – gás nitrogênio
N₂O – óxido nitroso
N/C – razão nitrogênio/carbono
P – grupo p-hidroxifenil
pBl – p-hidroxibenzaldeído (4-hidroxibenzaldeído)
pBd - ácido p-hidroxibenzóico
PBn – p-hidroxiacetofenona
PDB – Pee Dee Belemnite
pH – potencial hidrogeniônico
PIB – Produto Interno Bruto
PLANASULCAR – Programa Nacional de Melhoramento da Cana de Açúcar
POLCAMAR – Poluição da Cana de Açúcar em Sistemas Marinhos
PROÁLCOOL – Programa Nacional do Alcool
Prof. - profundidade
²¹⁰Pb – isótopo do chumbo de massa igual a 210
²¹⁰Pb_{ex} – atividade em excesso ou não-suportada do isótopo do chumbo de massa igual a 210
²¹⁰Pb_{total} – atividade total do isótopo do chumbo de massa igual a 210
²¹⁴Pb – isótopo do chumbo de massa igual a 214
Q – densidade
rpm – rotações por minuto
²²⁶Ra – isótopo do rádio de massa igual a 226
S – grupo siringil
Sd – ácido siríngico (ácido 4-hidroxi, 3,5 dimetoxi benzóico)
Sl – siringaldeído (4-hidroxi, 3,5 dimetoxi benzaldeído)
Sn – acetosiringona (3,5 dimetoxi 4-hidroxi benzofenona)
S/V – razão siringil/vanilil
S8 – concentração total de ligninas por peso seco
V – grupo vanilil
Vd – ácido vanílico (ácido 4-hidroxi, 3-metoxi benzóico)
Vl – vanilina (4-hidroxi, 3-metoxi benzaldeído)
Vn – acetovanilona (4-hidroxi, 3-metoxi acetofenona)
wC16MA – ácido 16-hidroxihexadecanóico (ácido jumpérico)
ZMT - Centro de Ecologia Marinha Tropical (Alemanha)
δ¹³C – razão isotópica do carbono
φ - porosidade do sedimento
ω - taxa de sedimentação
λ - concentração total de ligninas normalizada para o carbono orgânico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principais tipos de lagoas costeiras.	21
Figura 2. Valores típicos de $\delta^{13}\text{C}$ e C/N para diferentes fontes de matéria orgânica em áreas costeiras. COD (carbono orgânico dissolvido), COP (carbono orgânico particulado).	24
Figura 3. Fenóis da lignina derivados da oxidação com CuO e sua estrutura química.	25
Figura 4. Relação entre as razões S/V e C/V e as faixas de valores para tipo de planta.	27
Figura 5. Principais ecossistemas e tipos de ocupação ao redor do CELMM, incluindo a monocultura da cana de açúcar (rosa claro) e a urbanização (cinza).	32
Figura 6. Mapa das principais regiões produtoras de cana de açúcar no Brasil.	33
Figura 7. Localização geográfica da área estudada e dos testemunhos coletados: C02 e C09 na Lagoa Manguaba, C06 e C07 na Lagoa Mundaú, e C08 na foz do Rio Mundaú.	35
Figura 8. Cromatograma de lignino-fenóis gerado por uma solução padrão.	40
Figura 9. Perfis de argila, silte e areia (%) para os testemunhos C02 e C09 na Lagoa Manguaba, C06 e C07 na Lagoa Mundaú, e C08 no Rio Mundaú.	43
Figura 10. Distribuição vertical de carbono orgânico (CO), razão C/N (molar) e razão isotópica do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) nos testemunhos C02 e C09 na Lagoa Manguaba, bem como as fases deposicionais definidas pela análise de agrupamento (Anexos I e II).	45
Figura 11. Distribuição vertical de carbono orgânico (CO), razão C/N (molar) e razão isotópica do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) nos testemunhos C08 no Rio Mundaú, e C06 e C07 na Lagoa Mundaú, bem como as fases deposicionais definidas pela análise de agrupamento (Anexos III, IV e V).	46
Figura 12. Distribuição vertical da concentração de ligninas normalizadas para o carbono orgânico (λ) e por peso seco (S8), concentrações dos grupos fenólicos S, C e V, e razões S/V, C/V e (Ad/Al) _v para os testemunhos C02 e C09 na Lagoa Manguaba.	52
Figura 13. Distribuição vertical da concentração de ligninas normalizadas para o carbono orgânico (λ) e por peso seco (S8), concentrações dos grupos fenólicos S, C e V, e razões S/V, C/V e (Ad/Al) _v para os testemunhos C08 no Rio Mundaú, e C06 e C07 na Lagoa Mundaú.	53
Figura 14. Perfis de $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$, ^{226}Ra , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ e ^{137}Cs para os testemunhos C02 na Lagoa Manguaba, e C06 e C07 na Lagoa Mundaú.	56
Figura 15. Correlação entre carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (N) nos sedimentos do CELMM.	59

Figura 16. Relação entre razão N/C e $\delta^{13}\text{C}$ nos sedimentos do CELMM. Fito. (fitoplâncton), MO (matéria orgânica).	61
Figura 17. Relação entre $\delta^{13}\text{C}$, razão C/N e a concentração total de ligninas em mg/100 mg de CO (λ) nos sedimentos do CELMM.....	63
Figura 18. Relação entre as razões S/V e C/V dos sedimentos e amostras de solo do CELMM, da cana de açúcar e do vinhoto. Angiospermas lenhosas (A), angiospermas não lenhosas (a).	64
Figura 19. Relação entre ligninas totais (λ) e razão (Ad/Al)v nos sedimentos dos CELMM. .	69
Figura 20. Perfil vertical de LPVI para os testemunhos C08 no Rio Mundaú, C06 e C07 na Lagoa Mundaú, e C02 e C09 na Lagoa Manguaba. Angiospermas lenhosas (A); angiospermas não lenhosas (a).	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentrações dos grupos fenólicos (em percentual de carbono orgânico) encontradas em cada tipo de vegetal.	26
Tabela 2. Descrição dos padrões utilizados para identificação e quantificação de lignino-fenóis e seus principais grupos fenólicos. Em negrito, os 9 compostos de recuperação, e não-negrito, os 16 compostos de concentração.	39
Tabela 3. Identificação de fases nos testemunhos do CELMM com base na análise de agrupamento.	44
Tabela 4. Valores máximos, mínimos e médios do teor de carbono orgânico, razão C/N e razão entre os isótopos estáveis do carbono para os testemunhos amostrados.	47
Tabela 5. Valores mínimos, máximos e médios dos grupos fenólicos da lignina (V, S, C), concentração total de ligninas normalizada para o carbono (λ) e por peso seco (S8), razões entre os grupos fenólicos e razão entre as formas ácida e aldeídica do grupo vanilil ([Ad/Al] _v).	51
Tabela 6. Teor de carbono orgânico e composição de ligninas para o vinhoto.	54
Tabela 7. Estimativas de taxas de sedimentação (cm/ano) para os testemunhos C02 na Lagoa Manguaba, e C06 e C07 na Lagoa Mundaú.	55
Tabela 8. Teor de matéria orgânica (MO), granulometria, razão C/N, $\delta^{13}\text{C}$ e ligninas das amostras de solo em diversos estágios de desenvolvimento da cana de açúcar (c.a.) e uso do solo.	58
Tabela 9. Comparação dos valores médios de carbono orgânico (CO), razão C/N, $\delta^{13}\text{C}$ e fenóis da lignina entre os compartimentos do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba e outros sistemas costeiros.	66
Tabela 10. Faixa de variação para os valores de LPVI de acordo com o tipo vegetal.	70
Tabela 11. Taxas de sedimentação, teor de carbono orgânico (CO), acumulação de carbono orgânico e ligninas para os respectivos intervalos nos perfis sedimentares do CELMM.	72
Tabela 12. Taxas de sedimentação, teor de carbono orgânico (CO), acumulação de carbono orgânico e ligninas em diferentes ambientes deposicionais.	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO GERAL.....	18
1.1.1 Objetivos específicos.....	18
2 BASE TEÓRICA	20
2.1 SISTEMAS LAGUNARES: TIPOLOGIA E FONTES DE MATÉRIA ORGÂNICA	20
2.2 MATÉRIA ORGÂNICA SEDIMENTAR	22
2.2.1 Composição elementar e isotópica	22
2.2.2 Ligninas	24
2.2.3 Acumulação de matéria orgânica e impactos antrópicos.....	27
3 ÁREA DE ESTUDO.....	30
4 MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1 AMOSTRAGEM.....	34
4.2 PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS	34
4.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE E DENSIDADE	35
4.4 DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA.....	36
4.5 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO ELEMENTAR E ISOTÓPICA DA MATÉRIA ORGÂNICA	36
4.6 DETERMINAÇÃO DE LIGNINO-FENÓIS	37
4.7 TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO E ACUMULAÇÃO	40
4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	41
5 RESULTADOS	42
5.1 COMPOSIÇÃO FÍSICA DOS SEDIMENTOS	42

5.2 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO	44
5.3 COMPOSIÇÃO ELEMENTAR E ISOTÓPICA DA MATÉRIA ORGÂNICA	47
5.4 CONCENTRAÇÃO E COMPOSIÇÃO DE LIGNINAS	48
5.5 TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO	54
6 DISCUSSÃO	57
6.1 ORIGEM DA MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS DO CELMM.....	57
6.2 DEGRADAÇÃO DAS LIGNINAS	67
6.3 LPVI (“LIGNIN-PHENOL VEGETATION INDEX”)	69
6.4 SEDIMENTAÇÃO E ACUMULAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA.....	71
7 CONCLUSÕES.....	75
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
9 ANEXOS.....	86

1 INTRODUÇÃO

As lagunas costeiras são consideradas um dos ecossistemas mais produtivos do mundo, constituindo cerca de 13% de toda a área costeira mundial (KJERFVE, 1994). Localizadas na interface continente-oceano, são áreas extremamente dinâmicas biogeoquimicamente, caracterizadas por baixas profundidades e eficiente reciclagem de nutrientes, resultando em alta produtividade primária e secundária (KNOPPERS, 1994; YÃNEZ-ARANCIBIA *et al.*, 1994). A grande potencialidade de exploração dos recursos naturais torna essas áreas alvo crescente de atividades antrópicas, as quais têm contribuído significativamente para a degradação ambiental desses sistemas (NIXON, 1995).

Em geral, as lagunas atuam como retentoras de materiais, que podem ser provenientes de múltiplas fontes, naturais ou antrópicas, tal como dos rios, do escoamento superficial difuso, da produção autóctone, da urbanização, e de atividades industriais e agrícolas. Dessa forma, seus sedimentos registram tanto processos que ocorrem externamente em sua bacia de drenagem, quanto internamente no ecossistema, refletindo processos históricos sobre mudanças nas condições ambientais, em escala local e regional.

O Complexo Estuarino-Lagunar Mandaú-Manguaba (CELMM), situado no litoral nordeste do Brasil, vem sofrendo um processo contínuo de degradação ambiental, a exemplo de outros sistemas costeiros. Dentre os principais impactos estão os provenientes de efluentes urbanos e da agroindústria canavieira, principal atividade econômica local (OLIVEIRA e KJERFVE, 1993). O sistema funciona como destino final de resíduos com alto teor de matéria orgânica, levando à eutrofização cultural e à diminuição dos recursos pesqueiros, além de problemas de saúde pública.

A avaliação quantitativa e qualitativa da matéria orgânica sedimentar é uma ferramenta bastante utilizada em estudos geoquímicos, fornecendo informações sobre as fontes e a quantidade de material depositado em determinado ecossistema, inclusive sobre a

intensidade de processos de degradação. Diversos traçadores têm sido utilizados para este fim, como a composição elementar (C, N) e isotópica da matéria orgânica ($\delta^{13}\text{C}$), e marcadores moleculares como as ligninas. Estas se destacam por serem específicas de plantas vasculares, sendo um potencial biomarcador de fontes terrestres (HEDGES *et al.*, 1997; HEDGES e MANN, 1979).

O presente trabalho está inserido no projeto POLCAMAR, de Cooperação Científica Brasil-Alemanha, intitulado “O Impacto de Poluentes da Monocultura da Cana-de-açúcar em Estuários e Águas Costeiras do NE-E do Brasil: Transporte, Destino e Estratégias de Gerenciamento Sustentável”, que pretende verificar as condições atuais e pretéritas do impacto da monocultura da cana-de-açúcar sobre estuários e águas costeiras representativas do Nordeste e Leste do Brasil, através da caracterização das fontes de matéria orgânica, seus mecanismos de transporte e transformação na água, e acumulação nos sedimentos e recursos vivos.

Especificamente neste estudo, a distribuição vertical de carbono orgânico, razão C/N, $\delta^{13}\text{C}$, e principalmente os lignino-fenóis serão utilizados para verificar o histórico recente de possíveis mudanças nas fontes de matéria orgânica para o sistema lagunar Mundaú-Manguaba. Em última instância, será estimada a taxa de acumulação de matéria orgânica nos sedimentos, bem como o estado de degradação da mesma.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo geral identificar a origem, o nível de transformação da matéria orgânica, e a variação espaço-temporal da sua acumulação recente nos sedimentos do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba-AL.

1.1.1 Objetivos específicos

- Determinar as propriedades físicas (densidade, umidade e granulometria) das amostras de sedimento, para o entendimento da dinâmica sedimentar e dos processos deposicionais da matéria orgânica.

- Determinar a concentração e composição de lignino-fenóis nos sedimentos, junto com a razão entre carbono orgânico e nitrogênio total (C/N) e a razão dos isótopos estáveis do carbono ($\delta^{13}\text{C}$), a fim de estabelecer a origem da matéria orgânica.
- Avaliar o estado de degradação da matéria orgânica sedimentar.
- Determinar a acumulação de carbono orgânico e ligninas nos sedimentos a partir de taxas de sedimentação pré-estabelecidas com ^{210}Pb .

2 BASE TEÓRICA

2.1 SISTEMAS LAGUNARES: TIPOLOGIA E FONTES DE MATÉRIA ORGÂNICA

Lagunas costeiras são corpos de água geralmente de baixa profundidade, separados do oceano por uma barreira arenosa e direcionados paralelamente à linha de costa. Sua conexão com o mar ocorre através de um ou mais canais restritos, que podem ser permanentes ou intermitentes (KJERFVE, 1994). Em sua grande maioria, as lagunas foram formadas durante o Holoceno/Pleistoceno, como resultado dos processos de transgressão e regressão do nível do mar (KNOPPERS *et al.*, 1994).

Kjerfve (1994) classifica três tipos geomorfológicos de sistemas lagunares, de acordo com a comunicação com o oceano: enclausurados, restritos e abertos (Figura 1). Dependendo desses subtipos, a intensidade e a magnitude da troca de água com o oceano serão maiores ou menores, influenciando em fatores como tempo de residência da água na laguna e distribuição de salinidade, de forma que podem ocorrer lagunas oligohalinas até hipersalinas.

Por todas essas características, as lagunas costeiras são consideradas ambientes peculiares, com alta variabilidade espacial e temporal de características hidroquímicas, além de grande diversidade biológica. Em geral, atuam como verdadeiros filtros, retendo grande parte de material orgânico e inorgânico provenientes de diversas fontes externas e internas. Apresentam altas taxas de sedimentação e produtividade primária, além de terem grande importância sócio-econômica, relacionada principalmente aos recursos pesqueiros. No entanto, essas áreas estão cada vez mais sujeitas a múltiplos impactos antrópicos.

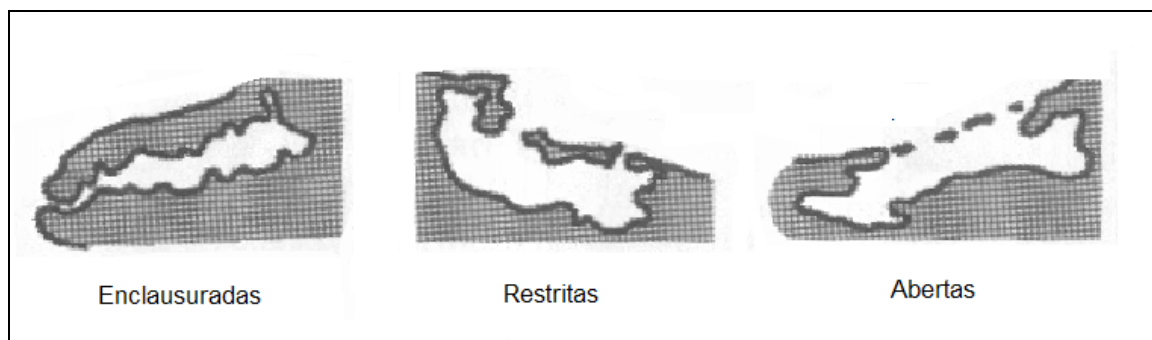


Figura 1. Principais tipos de lagunas costeiras.

Fonte: Kjerfve, 1994.

Áreas costeiras são receptoras de múltiplas fontes de matéria orgânica, que podem ser de origem autóctone, proveniente de sua própria produção primária, ou alóctone, a partir da drenagem continental e da troca de material com o oceano. Dentre os principais contribuintes para a produção primária autóctone estão o fitoplâncton e as bactérias heterotróficas (KILLOPS e KILLOPS, 2005). Adicionalmente, espécies de macroalgas, microfítobentos, macrófitas aquáticas e marismas também são importantes fontes de matéria orgânica autóctone. Já as fontes alóctones estão relacionadas principalmente ao material proveniente de solos e detritos de vegetais terrestres.

A contribuição relativa de fontes aquáticas e terrestres será influenciada pela produtividade de algas e de plantas terrestres, bem como de processos de transporte desse material em função das características hidrológicas de cada ambiente (MEYERS, 1997). Por exemplo, o fitoplâncton pode ser a principal fonte de matéria orgânica em áreas com maior influência de marés, como as lagunas costeiras, enquanto em locais dominados por rios o aporte de fontes alóctones será mais significativo (GORDON e GOÑI, 2004; LAMB *et al.*, 2006).

Além da contribuição natural, as áreas costeiras também recebem o aporte de material proveniente de atividades antrópicas, geradas, por exemplo, pelo desmatamento, agricultura (associada à erosão e uso de fertilizantes), agropecuária, urbanização e industrialização. Todas essas atividades geram efluentes ricos em matéria orgânica, que acabam tendo como destino final as águas costeiras, contribuindo para a sua eutrofização e deterioração. Atualmente, quase nenhum sistema costeiro é natural, principalmente os localizados próximos a centros urbanos, sendo afetados por inúmeros impactos.

2.2 MATÉRIA ORGÂNICA SEDIMENTAR

2.2.1 Composição elementar e isotópica

A matéria orgânica (MO) sedimentar preserva informações sobre o histórico de mudanças ambientais e climáticas de um determinado ecossistema. Sua origem está relacionada à mistura de fontes distintas de MO, de forma que os sedimentos podem ser utilizados para a reconstrução de alterações no aporte de material alóctone e autóctone, as quais são induzidas tanto por processos naturais quanto antrópicos, bem como em escala local e regional (MEYERS, 1997). Lagunas costeiras, especificamente, apresentam altas taxas de produtividade primária e de sedimentação, de forma que esses processos são bem registrados em seus sedimentos.

Biopolímeros produzidos por diversos organismos, como lipídios, carboidratos e proteínas, além das ligninas presentes em vegetais superiores, formam uma mistura complexa que contribui para a formação da matéria orgânica sedimentar (MEYERS, 2003; KILLOPS e KILLOPS, 2005). Denominados biomarcadores, estes compostos ocorrem em diferentes proporções para cada organismo, e sua abundância nos sedimentos pode ser utilizada para determinar a contribuição das principais fontes de matéria orgânica para o determinado ecossistema.

De acordo com Orem *et al.* (1997), os biomarcadores ideais devem possuir quatro características principais: refletir as respostas dos organismos às mudanças ambientais; ser relativamente resistentes à degradação; representar grupos bem particulares de organismos; e ser depositado e preservado pouco após a produção, mantendo sinais de mudanças ambientais no tempo.

A composição elementar da matéria orgânica é um parâmetro bastante utilizado para distinguir fontes alóctones (terrestres) e autóctones (produção interna), com ênfase na razão entre carbono orgânico e nitrogênio total (C/N). Fontes alóctones são representadas em sua grande maioria pelas plantas terrestres, que possuem moléculas com baixo teor de nitrogênio (ligninas, taninos, hemicelulose, celulose, suberina e cutina), resultando em maiores razões C/N (>20). Já as fontes autóctones são constituídas em grande parte por bactérias e algas, as quais são ricas em proteínas, apresentando razões C/N que variam de 4 a 10 (HEDGES *et al.*, 1997; MEYERS, 1994).

Adicionalmente, a razão isotópica do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) também pode ser utilizada para a diferenciação entre fontes terrestres e marinhas, bem como para a identificação da matéria orgânica de diferentes tipos de plantas, uma vez que ela reflete as dinâmicas de assimilação de carbono durante a fotossíntese (HAYES, 1993; MÜLLER e VOSS, 1999). Em termos isotópicos, quando as plantas fazem fotossíntese, por razões de diferença de massa entre os isótopos, discriminam o isótopo mais pesado (^{13}C) em favor do isótopo mais leve (^{12}C). Portanto, as plantas tendem a ficar isotopicamente mais leve em relação à atmosfera. Este fracionamento é relativamente constante para as plantas de um mesmo ciclo fotossintético.

Plantas de metabolismo C_3 (Calvin-Benson), que constituem 90% das plantas terrestres, assimilam preferencialmente moléculas do isótopo ^{12}C , produzindo um sinal isotópico mais leve (aproximadamente -27‰). Já as plantas de metabolismo C_4 (Hatch-Slack), representadas pelas gramíneas, produzem um sinal isotópico mais pesado, de aproximadamente -13‰ , sendo mais enriquecidas em ^{13}C . Outro tipo menos abundante é representado pelas plantas de metabolismo CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), como os cactus, cujo sinal isotópico do carbono pode ser semelhante ao das plantas C_3 e C_4 . Por outro lado, o fitoplâncton apresenta fracionamento semelhante ao das plantas C_3 , porém sua principal fonte de carbono inorgânico é o bicarbonato dissolvido ($\delta^{13}\text{C} = 0\text{‰}$), apresentando valores de $\delta^{13}\text{C}$ próximos a -20‰ (GORDON e GOÑI, 2003; HEDGES *et al.*, 1997).

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ podem ser utilizados juntamente com a razão C/N para obter informações mais consistentes sobre a origem da matéria orgânica em ambientes lagunares. A figura 2 apresenta as faixas de variação desses dois parâmetros normalmente encontradas em áreas costeiras. No entanto, valores distintos podem ser encontrados em sedimentos, principalmente devido à grande mistura de material característica de áreas costeiras, podendo representar variações naturais na composição bioquímica, alterações diagenéticas ou mesmo evidências de mudanças paleoambientais (MEYERS, 2003).

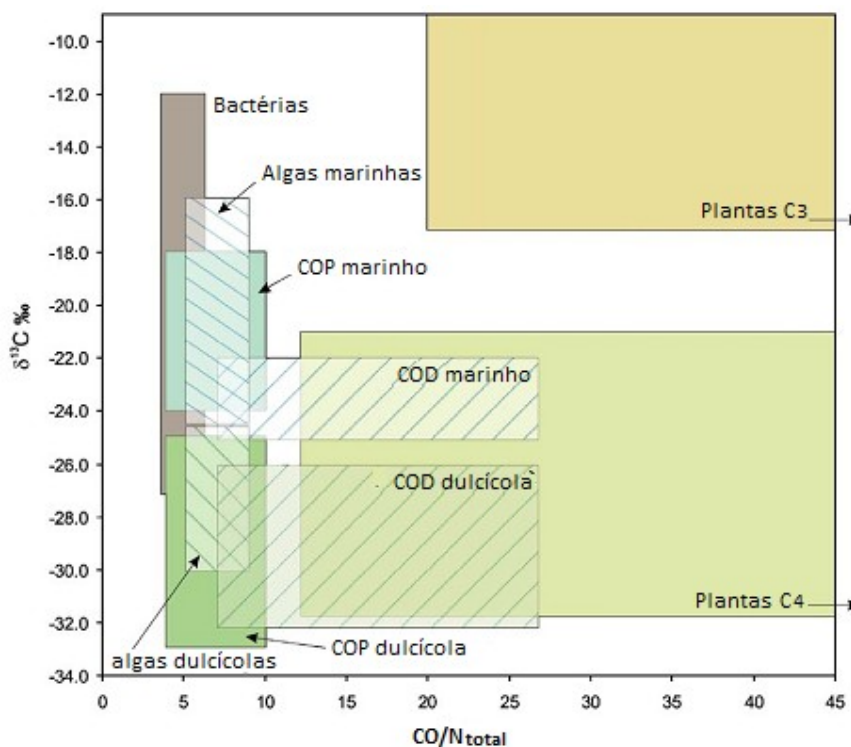


Figura 2. Valores típicos de $\delta^{13}\text{C}$ e C/N para diferentes fontes de matéria orgânica em áreas costeiras. COD (carbono orgânico dissolvido), COP (carbono orgânico particulado).

Fonte: Lamb *et al.*, 2006.

2.2.2 Ligninas

Para obter maior especificidade em diferenciar fontes de matéria orgânica, os biomarcadores (ou marcadores moleculares) têm sido amplamente utilizados em conjunto com os parâmetros elementares e isotópicos. Por ocorrerem em concentrações conhecidas em um determinado organismo, os biomarcadores apresentam alta sensibilidade para quantificar e qualificar as diferentes fontes. Além disso, providenciam detalhes sobre produtividade, distribuição e preservação da MO sedimentar (BRASSEL e EGLINTON, 1983; GOÑI e HEDGES, 1990b; MEYERS, 1997). Dentre os biomarcadores as ligninas se destacam por ocorrerem somente em plantas vasculares, sendo utilizadas para quantificar o aporte de material terrestre para ecossistemas aquáticos (HEDGES e MANN, 1979).

Ligninas são polímeros fenólicos de alto peso molecular, sintetizados a partir de uma reação enzimática entre celulose, tirosina e fenilalanina para a construção de tecidos vasculares e componentes estruturais de vegetais superiores (PEMPKOWIAK *et al.*, 2006).

Constitui cerca de 25% dos tecidos vegetais, sendo o segundo biopolímero mais abundante nas plantas e no meio ambiente, depois da celulose (LOUCHOUARN *et al.*, 1997).

Sua estrutura é constituída por polifenóis tridimensionais formados por monômeros de benzoisopropil, com grupos funcionais metoxilados. Após a morte do vegetal as ligninas são submetidas à degradação bioquímica, formando monômeros carboxilados, relativamente resistentes à biodegradação em condições anaeróbicas. Por esta característica singular as ligninas são consideradas um dos compostos vegetais mais bem preservados em solos e sedimentos, diferentemente dos componentes celulósicos (LOUCHOUARN *et al.*, 2010; PEMPKOWIAK *et al.*, 2006).

Dessa forma, as ligninas têm sido amplamente utilizadas para a caracterização da matéria orgânica em ambientes marinhos, costeiros, estuarinos, fluviais e lacustres (FARELLA *et al.*, 2001; GOÑI *et al.*, 2000; HEDGES *et al.*, 1988; MILTNER e EMEIS, 2000; ONSTAD *et al.*, 2000). Sua caracterização em sedimentos envolve a oxidação com CuO em condições alcalinas, resultando em vários fenóis de menor peso molecular, que são divididos em quatro grupos: vanilil (V), siringil (S), cinamil (C) e p-hidroxifenil (P). Os fenóis dos grupos V, S e P são encontrados nas formas ácida, aldeídica e cetônica, enquanto os do grupo C ocorrem somente em duas formas ácidas (Figura 3) (HEDGES e ERTEL, 1982).

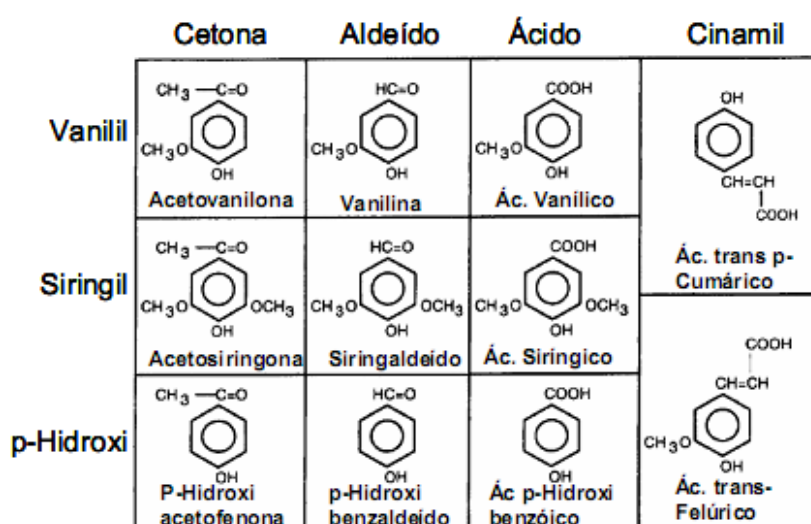


Figura 3. Fenóis da lignina derivados da oxidação com CuO e sua estrutura química.

Fonte: Hedges *et al.*, 1982.

Dependendo do tipo de vegetal, a composição e a relação entre esses grupos se modificam, podendo indicar a prevalência de certos táxons vegetais ao longo do tempo em um determinado ambiente. O grupo vanilil está presente em todas as plantas vasculares, enquanto os grupos siringil e cinamil podem ser observados em tecidos lenhosos e não lenhosos, respectivamente. Estes três grupos são encontrados exclusivamente em plantas superiores, enquanto o p-hidroxifenil também pode ser encontrado em algas (KILLOPS e KILLOPS, 2005).

Utilizando-se o grupo vanilil como normalizador, por estar presente em todos os tecidos vegetais, pode-se empregar as razões S/V e C/V para diferenciar gimnospermas de angiospermas, e tecidos lenhosos de foliares (Tabela 1; Figura 4). De uma maneira geral, o grupo siringil é encontrado em maiores concentrações em tecidos lenhosos e não lenhosos de angiospermas, enquanto o grupo cinamil é comum em tecidos não lenhosos, tanto de angiospermas quanto de gimnospermas (HEDGES e MANN, 1979).

Apesar da baixa degradabilidade dos lignino-fenóis, sua oxidação pode ocorrer devido à ação de bactérias e fungos, principalmente em ambientes aeróbicos (GOÑI *et al.*, 2005). Para se obter informações confiáveis quanto ao uso de ligninas como biomarcadores, é de extrema importância determinar seu estado de oxidação (DITTMAR e LARA, 2001), o qual pode ser obtido através da razão entre as formas ácida e aldeídica do grupo vanilil ($[Ad/Al]_v$), uma vez que ocorre maior produção da forma ácida durante a degradação (ERTEL e HEDEGES, 1985; OPSAHL e BENNER, 1995).

Tabela 1. Concentrações dos grupos fenólicos (em percentual de carbono orgânico) encontradas em cada tipo de vegetal.

Grupo	VEGETAÇÃO			
	Gimnospermas lenhosas	Angiospermas Lenhosas	Gimnospermas não-lenhosas	Angiospermas não-lenhosas
Vanilina	4,0 - 13,0	2,7 - 8,0	1,9 - 2,1	0,6 - 3,0
Siringil		7,0 - 8,0		1,0 - 3,0
Cinamil			0,8 - 1,2	0,4 - 3,1
Exemplos	Coníferas	Árvores com flores em geral		Gramíneas

Fonte: Adaptado de Killops e Killops, 2005.

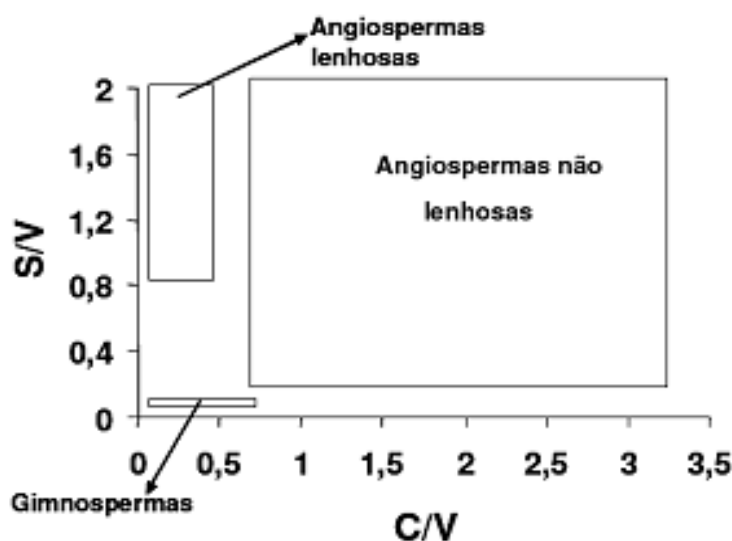


Figura 4. Relação entre as razões S/V e C/V e as faixas de valores para tipo de planta.

Fonte: Adaptado de Hedges *et al.*, 1988.

2.2.3 Acumulação de matéria orgânica e impactos antrópicos

Grande parte da matéria orgânica de origem autóctone e alóctone em ecossistemas aquáticos é reciclada na própria coluna d'água. No entanto, parte dessa MO poderá ser preservada, sendo adsorvida a partículas e transportada até os sedimentos. A acumulação de MO em sedimentos dependerá de algumas condições gerais: alta produtividade primária proveniente principalmente do fitoplâncton e de vegetais superiores; baixa hidrodinâmica local com pouca profundidade na coluna d'água, favorecendo a sedimentação; preservação da matéria orgânica nos sedimentos (KILLOPS e KILLOPS, 2005).

As taxas de sedimentação e acumulação de MO em áreas costeiras podem ser significativamente afetadas devido à grande concentração populacional e a atividades como desmatamento, agricultura e industrialização, que geram efluentes e resíduos, muitas vezes ricos em MO, que têm como destino final os corpos d'água. Tais atividades influenciam processos de erosão, transporte e deposição, contribuindo para o aumento da carga de material orgânico e inorgânico carregado pelos rios em direção ao mar. (OWEN e LEE, 2004; PATCHINEELAM *et al.*, 1999).

Taxas de sedimentação podem ser obtidas através da reconstrução cronológica com o radioisótopo de ^{210}Pb , um dos métodos mais utilizados para a datação de sedimentos depositados ao longo dos últimos 100 anos. Produto natural da série de decaimento do ^{238}U , o

^{210}Pb possui uma meia-vida de 22,3 anos, e pode ser utilizado em associação com o ^{137}Cs , um radionuclídeo artificial, para obtenção de resultados mais confiáveis (APPLEBY *et al.*, 1988; MCCALL *et al.*, 1984; ROBBINS e EDINGTON, 1975). Através da taxa de sedimentação pode-se estimar a taxa de acumulação de matéria orgânica para determinado ambiente deposicional.

Nesse contexto, a determinação de taxas de sedimentação pode fornecer informações sobre a cronologia de processos de influência antrópica, incluindo o aporte de poluentes, em determinado ambiente deposicional (RUIZ-FERNÁNDEZ *et al.*, 2002), além de alterações no uso do solo na bacia de drenagem. Adicionalmente, mudanças naturais no ambiente também podem ser estimadas, como por exemplo, o histórico de produtividade do ecossistema, processos climáticos, e a preservação da matéria orgânica dentro do ecossistema (MEYERS, 2003).

Um dos impactos ainda pouco estudados no Brasil está relacionado à produção de cana de açúcar, atividade responsável por mais de 2,2 % do PIB do país. A cana é uma gramínea do gênero *Saccharum*, utilizada para a produção de açúcar, álcool e aguardente. Seu processamento gera subprodutos como o bagaço, a vinhaça e o melaço, os quais têm grande importância socioeconômica na geração de energia, produtos aglomerados e fertilizantes (SILVA, 2004).

A monocultura da cana tem gerado uma série de danos ambientais desde o início de sua implantação, e particularmente a partir da década de 70, com programas de incentivo do governo, como o PROÁLCOOL. Há impactos desde o plantio até o processamento da cana. (CHEESMAN, 2004). O sistema de monocultura, além de afetar negativamente a biodiversidade e provocar o desgaste dos solos pela falta de rotatividade cultural, necessita do uso intensivo de agrotóxicos, que contaminam rios, lençóis freáticos e solos. A prática de queimadas como método de preparação para a colheita da cana também provoca inúmeros danos ambientais e à saúde.

Além disso, o principal impacto está relacionado ao processo de destilação para obtenção do álcool, que gera um dos efluentes líquidos mais volumosos e com maior carga poluidora da indústria sucroalcooleira, o vinhoto ou vinhaça. Para cada litro de álcool são gerados de 10 a 18 litros de vinhoto. De acordo com Silva *et al.* (2007), o vinhoto tem um poder poluente cem vezes maior que o do esgoto doméstico, decorrente de sua elevada carga de matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade, altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e elevada temperatura na saída dos destiladores. Em sua composição,

além da matéria orgânica sob a forma de sais orgânicos, encontram-se cátions como o K, Ca e Mg.

O alto teor de matéria orgânica presente no vinhoto é um potencial causador de poluição de águas superficiais, já que provoca a depleção de oxigênio pela biodegradação heterotrófica. Após a proibição do seu despejo diretamente nos corpos d'água, passou-se a aproveitá-lo para a fertirrigação das próprias plantações de cana de açúcar brasileiras (GUNKEL *et al.*, 2007). No entanto, essa prática pode levar à contaminação de águas subterrâneas e superficiais (SILVA *et al.*, 2007).

Os subprodutos (bagaço, vinhoto, melaço) gerados no processamento da cana são constituídos em sua maior parte de água e compostos lignocelulósicos. Dentre estes compostos verifica-se a presença de celulose em maior quantidade, com cerca de 45 %, seguida pelas hemiceluloses, em torno de 25 %, e ligninas, de 12 a 20 %. Assim, o material despejado pelas usinas pode contribuir para o aumento da concentração desses biopolímeros na água e nos sedimentos.

3 ÁREA DE ESTUDO

O Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM) está situado no estado de Alagoas, litoral nordeste do Brasil, entre as latitudes de 9° 35' à 9° 46' Sul, e entre as longitudes de 35° 44' à 35° 58' Oeste (ANA, 2004) (Figura 5). O sistema consiste de duas lagoas, Mundaú a leste, com aproximadamente 27 km² e profundidade média de 1,5 m, e Manguaba a oeste, com uma área de 42 km² e profundidade média de 2,1 m (ANA, 2006). Elas se encontram interconectadas por um sistema de canais que juntos somam 12 km² e se dirigem ao oceano terminando numa desembocadura de aproximadamente 250 metros de largura (OLIVEIRA e KJERFVE, 1993).

A Lagoa Mundaú recebe o aporte da bacia hidrográfica do Rio Mundaú, que drena uma área de aproximadamente 4.126 km² e percorre 30 municípios. Já a Lagoa Manguaba é alimentada pelos rios Paraíba do Meio e Sumaúma. O Rio Paraíba do Meio é a principal fonte de águas continentais para essa laguna e drena uma área de 3.157 km², percorrendo 20 municípios. O Rio Sumaúma percorre três municípios e sua bacia tem uma área de 372 km². A vazão média anual do Rio Mundaú é de 35 m³/s e dos rios Paraíba do Meio e Sumaúma são, respectivamente, 23 e 5 m³/s. Esses valores podem variar em função das épocas seca e chuvosa (ANA, 2006).

O clima da região é definido como tropical semi-úmido, apresentando duas estações bem definidas: uma seca, de novembro a março, e outra chuvosa, de maio a agosto. A precipitação média anual é de 1.654 mm. O regime de marés é definido como meso-maré semi-diurna com amplitude de aproximadamente 1,44m. A influência das marés é bastante reduzida no interior das lagoas devido à amortização dos canais de ligação com o oceano. A Lagoa Manguaba sofre ainda menor influência das correntes de maré, apresentando um tempo de residência de suas águas muito maior (36 dias), quando comparado ao de Mundaú (16 dias) (OLIVEIRA e KJERFVE, 1993).

Mundaú e Manguaba são consideradas as maiores e mais produtivas lagunas da região, tendo um alto valor socioeconômico para o Estado de Alagoas, principalmente para a cidade de Maceió. Os principais ecossistemas no entorno das lagunas são: floresta tropical úmida, floresta de tabuleiros, manguezais, mata ciliar e mata de restinga. Há seis Unidades de Conservação no entorno no CELMM, apesar da grande ocupação e uso antrópicos (ANA, 2006) (Figura 5).

Dentre as principais atividades econômicas desenvolvidas nas bacias contribuintes ao CELMM estão a agricultura canavieira, a pecuária, as agroindústrias, a pesca e o turismo (ANA, 2006). Dentre estas, a atividade canavieira destaca-se por ser a principal forma de ocupação ao redor das lagunas e das bacias de drenagem dos rios, acarretando diversos problemas ambientais desde o início do seu desenvolvimento. Ademais, a margem esquerda de Mundaú encontra-se bastante urbanizada, recebendo diretamente os efluentes urbanos (Figura 5).

O processo de implantação da monocultura da cana no território alagoano remonta do século XVI e está associado às ótimas condições naturais da região, que favoreceram a expansão dos canaviais transformando a agroindústria na sua principal atividade econômica. Dois episódios foram fundamentais para a expansão e a modernização da atividade açucareira na região: o alto preço do açúcar no mercado internacional durante a Primeira Guerra Mundial, e a implantação dos programas PLANASULCAR e PROÁCOOL pelo governo brasileiro nas décadas de 70 e 80, respectivamente (SANTOS *et al.*, 2007).

Alagoas é atualmente o quarto maior produtor de cana de açúcar do Brasil e o maior da região Nordeste, a qual detém cerca de 13 % da produção nacional (Figura 6). É o segundo estado na produção de açúcar e o sexto na produção de álcool. Na região do CELMM especificamente, a participação da cana de açúcar entre as culturas temporárias aumentou em quase todos os municípios no final do séc. XX, com mais de 90% da área colhida dos municípios. Ao todo são 10 usinas sucroalcooleiras que exploram uma área de aproximadamente 179.200 hectares (SANTOS *et al.*, 2007).

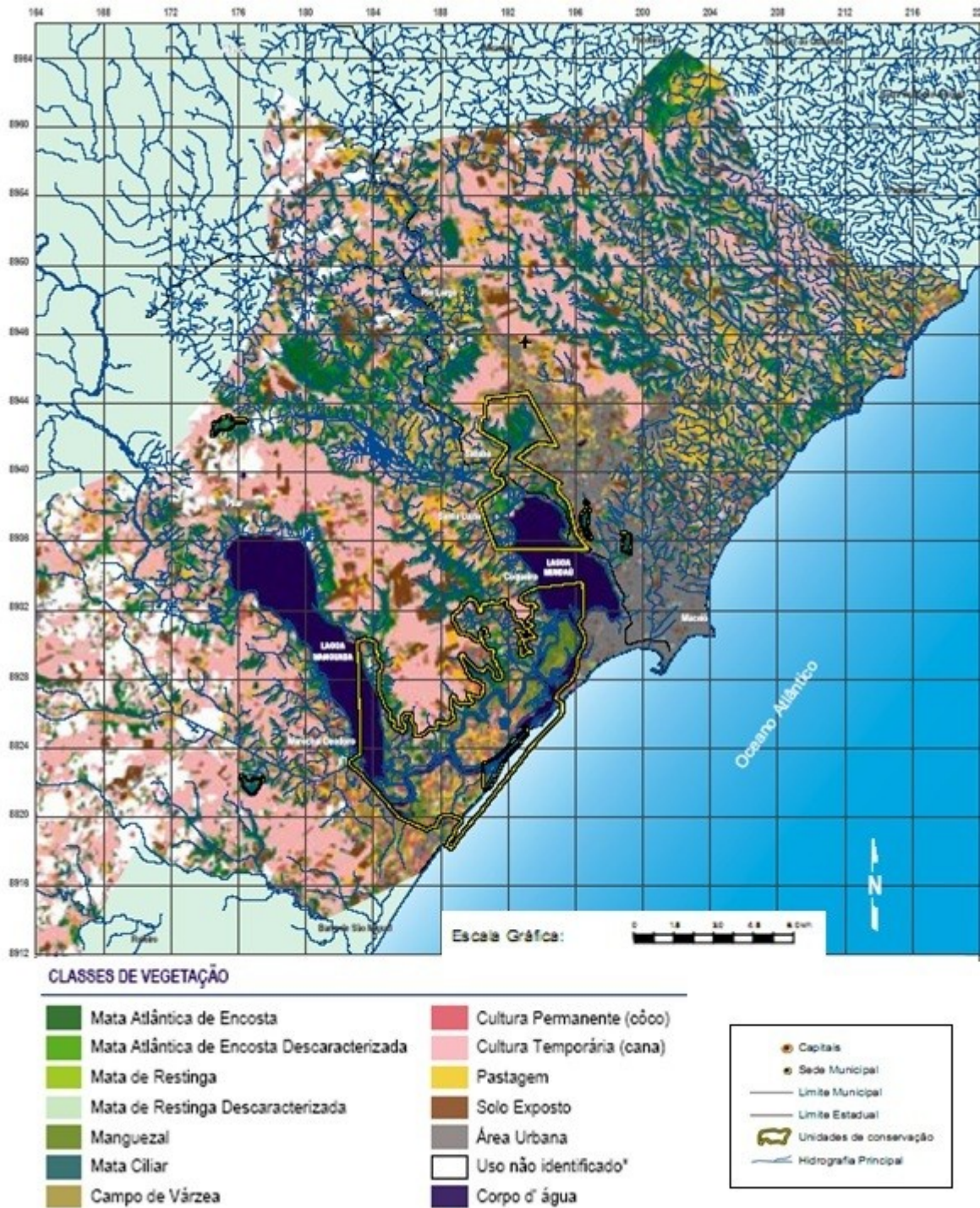


Figura 5. Principais ecossistemas e tipos de ocupação ao redor do CELMM, incluindo a monocultura da cana de açúcar (rosa claro) e a urbanização (cinza).

Fonte: ANA, 2006.

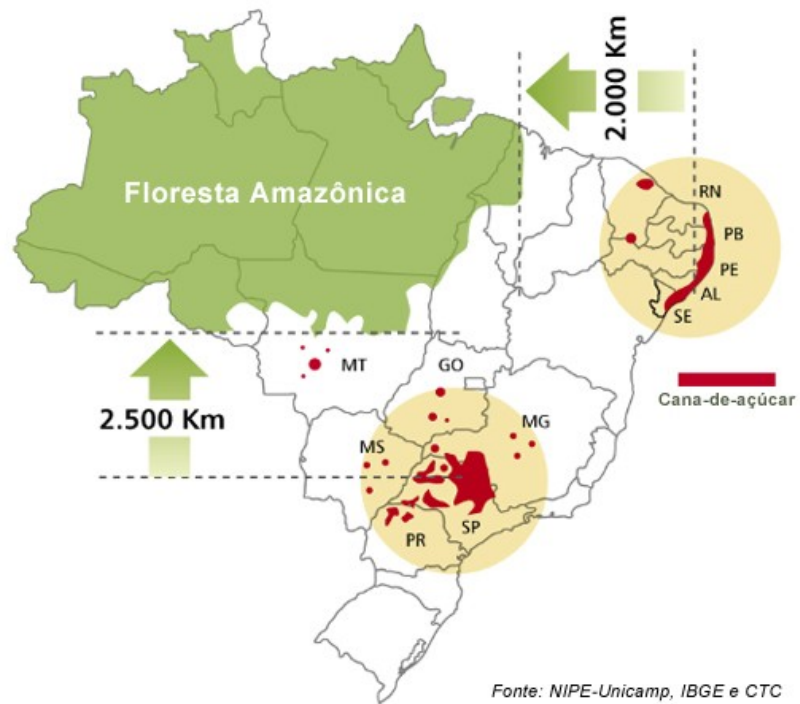


Figura 6. Mapa das principais regiões produtoras de cana de açúcar no Brasil.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 AMOSTRAGEM

Os locais escolhidos para amostragens da deposição de matéria orgânica foram aqueles com maior profundidade dentro do CELMM. A coleta dos testemunhos de sedimentos foi realizada nos meses de março e setembro de 2007. Dois testemunhos foram coletados na região central da Lagoa Manguaba: C02 com 40 cm de comprimento, e C09 com 70 cm. Na Lagoa Mundaú também foram retirados dois testemunhos, um na região central, C06 de 50 cm, e um próximo a cidade de Maceió, C07 de 50 cm. Um quinto testemunho também foi retirado na parte fluvial, junto à foz do Rio Mundaú: C08 com 30 cm de comprimento (Figura 7). Na campanha de 2006 também foi coletada uma amostra de vinhoto, resíduo líquido do processo de destilação da cana de açúcar.

4.2 PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

No laboratório os testemunhos foram abertos e fatiados a cada 2cm, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados, e mantidas congeladas até a realização das análises.

Alíquotas foram retiradas para a determinação do teor de umidade, densidade e granulometria. Outra alíquota foi homogeneizada e seca em estufa a 60°C, sendo uma parte enviada ao Centro de Ecologia Marinha Tropical – ZMT, em Bremen, Alemanha, para as

análises da composição elementar (C, N) e isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) da matéria orgânica, e outra parte preservada em local seco até as análises de lignino-fenóis.

4.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE E DENSIDADE

As análises do teor de umidade e de densidade real foram realizadas de acordo com o método gravimétrico de Müller (1967). Uma pequena quantidade de amostra úmida foi pesada em papel alumínio, disposta de maneira que ficasse uma fina camada de sedimento a fim de facilitar a secagem completa das amostras. O material foi seco em estufa a 60°C e pesado novamente após 72 horas.

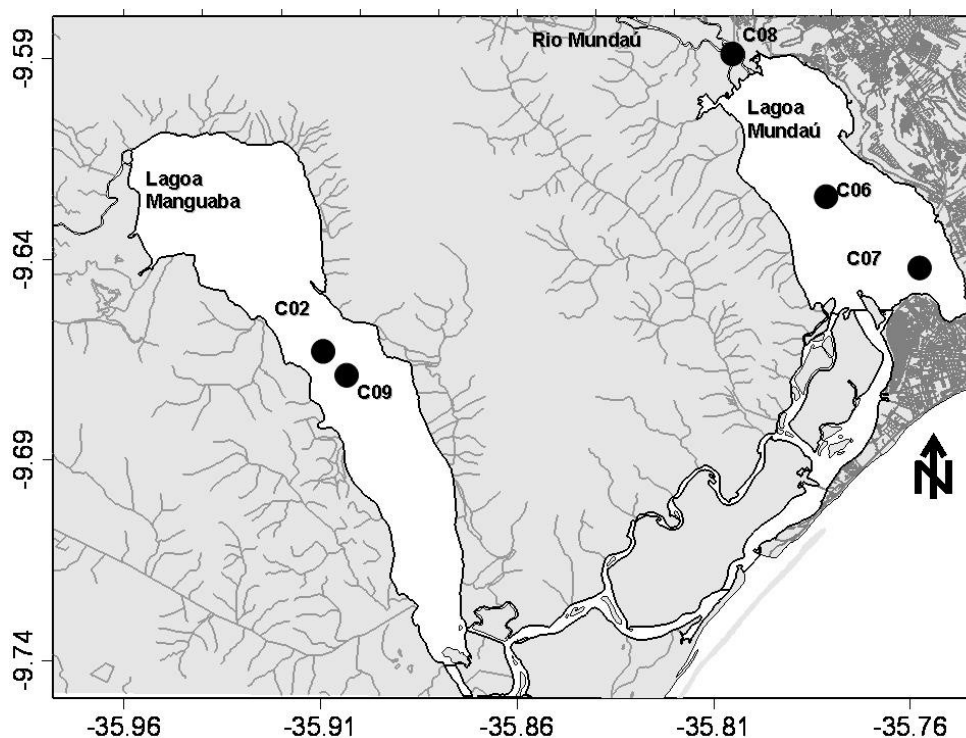


Figura 7. Localização geográfica da área estudada e dos testemunhos coletados: C02 e C09 na Lagoa Manguaba, C06 e C07 na Lagoa Mundaú, e C08 na foz do Rio Mundaú.

Fonte: Projeto POLCAMAR.

4.4 DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA

Para as análises granulométricas foi utilizado o método proposto por Ziervogel e Bohling (2003). Foram utilizados cerca de 4g de sedimento úmido, tratados com peróxido de hidrogênio a fim de se eliminar a matéria orgânica. Esta substância foi adicionada diariamente, até o término da reação ou no máximo durante duas semanas. Ao fim desse procedimento o sedimento foi lavado por sucessivas vezes com água destilada, separando a solução por centrifugação (3000 rpm por 5 minutos). O sedimento foi então agitado durante 12 horas com solução dispersante Hexametáfosfato de sódio 4,5 M. O equipamento utilizado para determinar a granulometria do sedimento foi o analisador de partículas (CILAS 1064), que atua pelo método de difratometria a laser. A curva granulométrica foi calculada através do programa estatístico GRADISTAT 4.0.

4.5 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO ELEMENTAR E ISOTÓPICA DA MATÉRIA ORGÂNICA

As análises da composição elementar (C e N) e isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) da matéria orgânica foram realizadas de acordo com a metodologia adaptada por Jennerjahn *et al.* (2002) no Centro de Ecologia Tropical Marinha (ZMT) em Bremen, Alemanha. A determinação da composição elementar e das razões isotópicas $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ é simultânea. O método consiste na combustão do material a 1020°C sob atmosfera de oxigênio puro, sendo os gases gerados por condutividade térmica (CO_2 e N_2O), carreados através de uma coluna cromatográfica do analisador elementar CHN Perkin Elmer 2400 acoplado a um espectrômetro de massa Finigan Delta Plus para detecção. A composição isotópica do carbono foi determinada depois da remoção de carbonatos, adicionando-se HCl 1M e subsequente secagem a 40°C. A quantificação é dada em desvio ‰ da composição isotópica do padrão PDB (Pee Dee Belemnite), distribuído pelo NBS (National Bureau of Standards).

4.6 DETERMINAÇÃO DE LIGNINO-FENÓIS

Para a determinação dos fenóis da lignina optou-se por analisar amostras alternadas dos testemunhos, devido ao grande tempo de análise e intensidade de detalhes analíticos envolvidos. A metodologia adotada para caracterização dos fenóis oriundo da oxidação da lignina foi o da degradação oxidativa com CuO sob condições alcalinas segundo Hedges & Ertel (1982) e modificado por Goñi & Hedges (1990a).

Em minibombas de aço inoxidável foram pesados cerca de 30mg de sulfato ferroso ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e 300mg de óxido de cobre (CuO). Logo após pesaram-se as amostras de acordo com a quantidade de carbono orgânico (CO) presente nas mesmas. Para que os fenóis possam ser efetivamente extraídos a quantidade adequada de CO na amostra deve variar entre 3,1 e 5,8mg. Duas bolinhas de aço inoxidável foram colocadas dentro de cada minibomba para auxiliar na mistura da amostra com os reagentes.

Para a digestão adicionou-se 2,5mL de NaOH 8% borbulhado com N_2 . As minibombas foram mantidas por 45 minutos em atmosfera inerte de N_2 e logo após foram devidamente fechadas e levadas ao forno. As amostras foram oxidadas a 155°C por 3 horas. Para a próxima etapa - extração -, todo o conteúdo das minibombas foi transferido para tubos de ensaio, sendo adicionados em cada um 25 μL da solução padrão de 9 compostos de recuperação (Tabela 2). Após centrifugação a 2000 rpm por 5 minutos o sobrenadante foi acidificado a pH 1,0. Em seguida, foram adicionados 3,0mL de éter bidestilado em cada tubo, que posteriormente foi agitado e centrifugado. Esta operação foi realizada por três vezes até a extração total dos fenóis. A água remanescente foi extraída passando-se as amostras em colunas contendo sulfato de sódio (Na_2SO_4). Estas colunas foram presas num rack de secagem com um fluxo de N_2 a 100 mL/min capaz de evaporar o éter recolhido em vials previamente identificados, isolando apenas os fenóis oriundos da lignina secos.

Para a leitura das amostras em cromatógrafo em fase gasosa foi preparado um padrão de trabalho contendo uma mistura de 25 compostos, sendo 16 de identificação e 9 de recuperação (Tabela 2). Tanto os padrões como as amostras foram diluídos em piridina e derivatizados com BSTFA (N,O-bis(trimetil)silil-trifluoroacetamida) antes de serem injetados. O cromatógrafo utilizado foi o Agilent Technologies modelo 6890 N programado para elevar a temperatura de 100 a 320°C a $3^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ com gás carreador hidrogênio, equipado com coluna capilar de sílica modelo DB-5MS J&W Scientific, com 30m de comprimento e $0,25\mu\text{m}$ de diâmetro interno.

Ao final de cada injeção gera-se um cromatograma, com os compostos identificados de acordo com o tempo de saída e quantificados de acordo com o tamanho do pico formado, baseado na comparação com o cromatograma da solução padrão de trabalho (Figura 8). Através dos padrões de recuperação adicionados na amostra, podem-se determinar possíveis perdas durante a extração. A média da precisão analítica é de $\pm 10\%$ para os produtos de lignina oriundos da oxidação de CuO. Os cálculos das concentrações dos compostos foram realizados com a utilização do pacote estatístico Corel 4.0 Pro. Estes cálculos foram realizados a partir da equação a seguir, utilizando a etil vanilina (eVI), um dos compostos de recuperação, como agente padronizador para corrigir o valor da massa encontrada para cada um dos fenóis:

$$MX_{amostra} = \frac{\text{Área } X_{amostra} (\text{meVI}_{amostra} / \text{Área eVI}_{amostra})}{(\text{Área } X_{padrão} / mX_{padrão}) \times (\text{meVI}_{padrão} / \text{Área eVI}_{padrão})}$$

Onde:

$MX_{amostra}$: massa da amostra;

$\text{Área } X_{amostra}$: área do pico da amostra;

$\text{meVI}_{amostra}$: massa da *etil vanilina* na amostra

$\text{Área eVI}_{amostra}$: área do pico da *etil vanilina* na amostra;

$\text{Área } X_{padrão}$: área do pico de um padrão identificação;

$mX_{padrão}$: massa de um padrão de identificação;

$\text{meVI}_{padrão}$: massa da *etil vanilina* no padrão;

$\text{Área eVI}_{padrão}$: área do pico da *etil vanilina* no padrão.

A recuperação percentual dos padrões internos adicionados nas amostras de sedimento foi de $50,5 \pm 3,3$. Para o vinhoto esse percentual foi de $54,2 \pm 9,5$.

Tabela 2. Descrição dos padrões utilizados para identificação e quantificação de lignino-fenóis e seus principais grupos fenólicos. Em negrito, os 9 compostos de recuperação, e não-negrito, os 16 compostos de concentração.

	Sigla do composto	Tempo de retenção (min.)	Composto	Grupo fenólico
1	CHxd	6.51	ácido ciclohexacarboxílico	
2	Bd	7.81	ácido benzóico	
3	pBl	12.83	p-hidroxibenzaldeído (4-hidroxibenzaldeído)	P
4	pBn	17.73	p-hidroxiacetofenona	P
5	VI	21.35	vanilina (4-hidroxi, 3-metoxi benzaldeído)	V
6	Cnd	22.24	ácido trans-cinâmico	
7	MBd	23.59	ácido m-hidroxibenzóico (ácido 3-hidroxibenzóico)	
8	eVI	25.08	etil vanilina	
9	Vn	26.48	acetovanilona (4-hidroxi, 3-metoxi acetofenona)	V
10	pBd	27.33	ácido p-hidroxibenzóico	P
11	Sl	31.56	siringaldeído (4-hidroxi, 3,5 dimetoxi benzaldeído)	S
12	3,4MeOBd	32.99	ácido 3,4 dimetoxi benzóico (ácido verátrico)	
13	Sn	35.90	acetosiringona (3,5 dimetoxi 4-hidroxi benzofenona)	S
14	Vd	36.10	ácido vanílico (ácido 4-hidroxi, 3-metoxi benzóico)	V
15	3,5Bd	40.28	ácido 3,5 dihidroxibenzofenona	
16	Sd	43.56	ácido siríngico (ácido 4-hidroxi, 3,5 dimetoxi benzóico)	S
17	Cd	44.86	ácido p-coumárico (ácido cinâmico)	C
18	Fd	49.14	ácido trans felúrico	C
19	C11DA	51.34	ácido 1,11-undecanodicarboxílico	
20	wC16MA	55.44	ácido 16-hidroxihexadecanóico (ácido jumpérico)	
21	4,4'Bn	55.96	4,4'dihidroxibenzofenona	
22	12C18MA	56.24	ácido 12-hidroxiocadenóico (ácido 12-hidroxiesteárico)	
23	C16DA	57.07	ácido hexadecano-1,16-dióico (ácido thápsico)	
24	C23MA	61.37	ácido tricosanóico	
25	C28MA	68.02	ácido octacosanóico (ácido montânico)	

Fonte: este estudo.

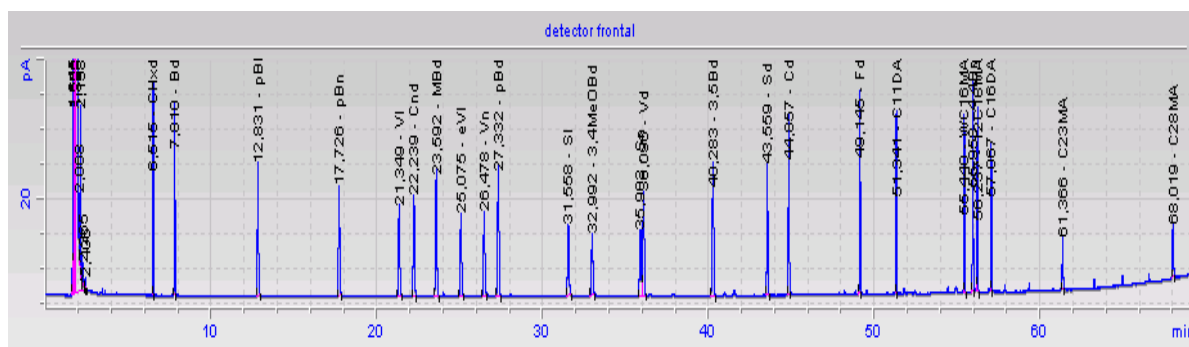


Figura 8. Cromatograma de lignino-fenóis gerado por uma solução padrão.

Fonte: este estudo.

4.7 TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO E ACUMULAÇÃO

As taxas de sedimentação foram determinadas no *Laboratório de Radionuclídeos Naturais Aplicados a Problemas Ambientais*, do *Departamento de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense*. Somente três testemunhos puderam ser analisados: C02, C06 e C07.

As medidas de raio gama foram determinadas com um detector de germânio de alta pureza, semi-plano e acoplado a um analisador multicanal, cuja eficiência é de 40%. A atividade foi calculada multiplicando os pulsos detectados de toda área em cada minuto por um fator que inclui a intensidade do raio-gama e a eficiência do detector. Esse fator foi determinado através de calibrações padrões usando a curva de eficiência obtida pelas medidas e analisando uma mistura de padrões certificados pelo IRD (Instituto de Radioproteção e Dosimetria), número C/87/A00. A atividade do ^{210}Pb foi determinada pela medida direta do pico gama de 46,5 Kev. A atividade do ^{226}Ra foi calculada através do ^{214}Pb , energia 295,2 Kev (APPLEBY e OLDFIELD, 1992). A atividade em excesso do ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$), foi estimada subtraindo-se a atividade do ^{226}Ra da atividade total do ^{210}Pb . O decaimento das amostras foi contado durante 100.000s em cilindros geométricos idênticos (SMOAK e PATCHINEELAM, 1999). A energia de “background” dos radionuclídeos foi subtraída das áreas de pico e correções de auto-absorção foram calculadas segundo Cutshall *et al.* (1982).

As estimativas de taxa de sedimentação foram calculadas pelo modelo de Concentração Inicial Constante (CIC) para os intervalos deposicionais. A partir das taxas de sedimentação puderam ser calculadas as taxas de acumulação de carbono orgânico e ligninas

para os testemunhos C02, C06 e C07, utilizando-se o cálculo de acordo com Balzer *et al.* (1986), utilizando-se um fator de correção para compactação de 0,83, e um valor padrão de 2,5 para densidade de sedimentos finos:

$$CA = 0,83.CO. \omega.Q.(1 - \phi)$$

Onde:

CA: taxa de acumulação (em g/m²/ano);

CO: carbono orgânico (em mg/g) ou ligninas totais (em mg/g de peso seco);

ω : taxa de sedimentação (em cm/ano);

Q: densidade (em g/cm³);

ϕ : porosidade do sedimento.

4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos neste trabalho foram submetidos a um teste de correlação não-paramétrico através da Correlação de Spearman para cada laguna, com exceção do testemunho C08, devido à sua localização em um compartimento distinto dentro do sistema (fluvial) e à heterogeneidade de sua composição granulométrica. Para a análise de Cluster (agrupamento) os dados foram normalizados pelo método de “ranging” $(X - X_{\min}/X_{\max} - X_{\min})$. Foi utilizado o método de agrupamento Ward, com distância euclidiana entre as estações. As análises foram realizadas através do programa STATISTICA 7 (Copyright© 1984-1987, StatSoft, Inc.).

5 RESULTADOS

5.1 COMPOSIÇÃO FÍSICA DOS SEDIMENTOS

A partir da análise granulométrica dos testemunhos sedimentares foram selecionadas oito classes de tamanho de grãos: argila ($<2 \mu\text{m}$), silte fino (2 a $6,5 \mu\text{m}$), silte médio (6,5 a $20 \mu\text{m}$), silte grosso (20 a $63 \mu\text{m}$), areia muito fina (63 a $100 \mu\text{m}$), areia fina (110 a $200 \mu\text{m}$), areia média (200 a $600 \mu\text{m}$) e areia grossa (600 a $2000 \mu\text{m}$). Neste trabalho, a distribuição granulométrica, uma ferramenta auxiliar na interpretação da composição de ligninas, foi reagrupada em três classes para facilitar a análise comparativa, sendo elas: argila ($<2\mu\text{m}$), silte ($63-2\mu\text{m}$) e areia ($2000-63\mu\text{m}$).

O silte foi a classe granulométrica mais abundante em todos os testemunhos, variando de 46 a 93%, seguido do teor de argila, que variou de 2 a 48%. Dessa forma, os sedimentos das lagunas Mundaú e Manguaba podem ser descritos como finos ($<63\mu\text{m}$), com exceção do testemunho C08 localizado junto à foz do Rio Mundaú, que apresentou os menores teores de argila e um teor de areia de até 48%. A distribuição vertical dos teores de argila, silte e areia dos testemunhos está representada na figura 9. De um modo geral, o perfil granulométrico dos testemunhos é bastante homogêneo, com exceção do C08, onde se observam sedimentos com menores teores de finos na base e no topo do testemunho.

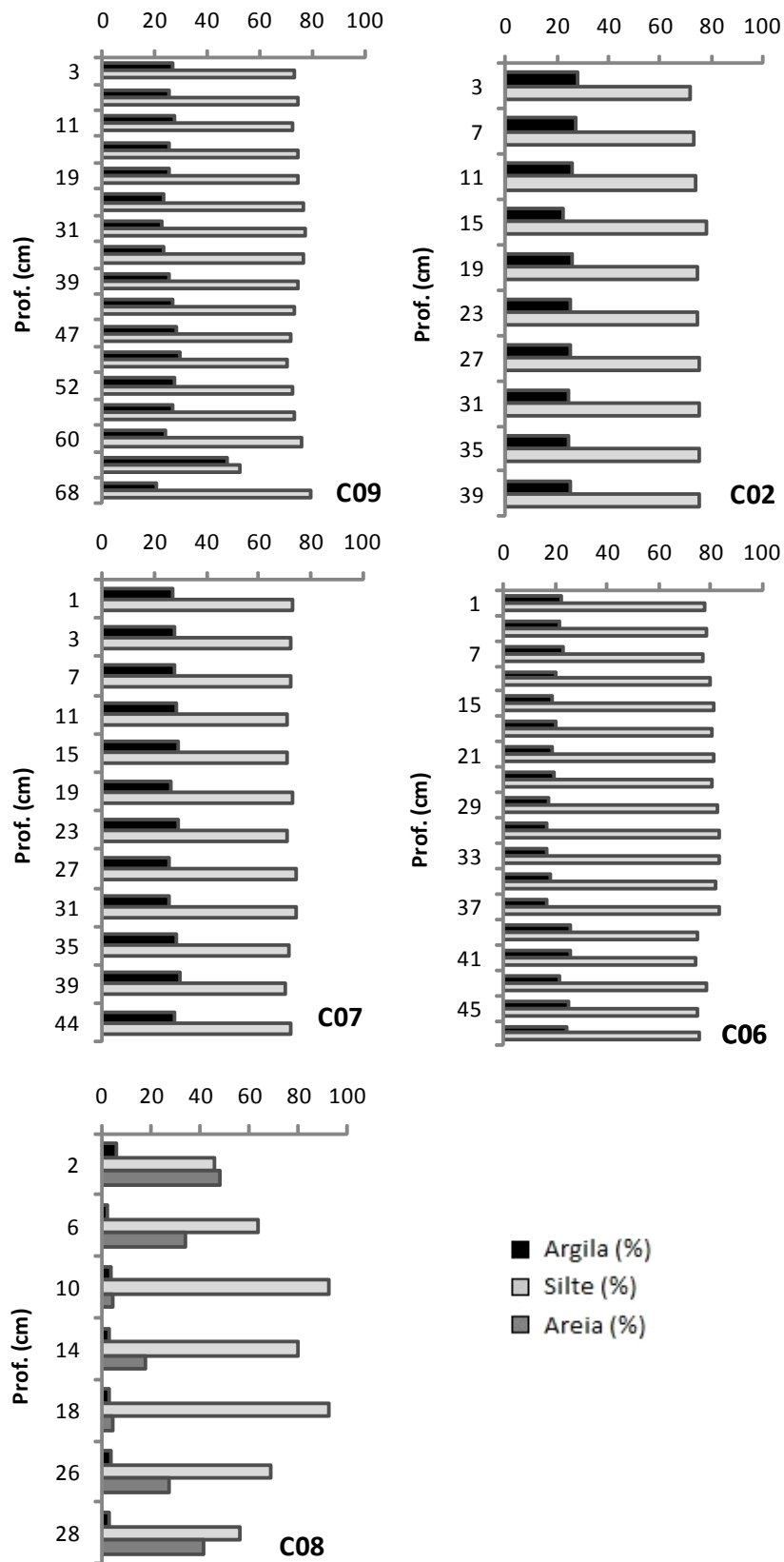


Figura 9. Perfis de argila, silte e areia (%) para os testemunhos C02 e C09 na Lagoa Manguaba, C06 e C07 na Lagoa Mundaú, e C08 no Rio Mundaú.

Fonte: este estudo.

5.2 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

A Análise de Cluster foi aplicada neste trabalho com o objetivo de identificar fases deposicionais ao longo dos testemunhos amostrados no CELMM. Para tal, foram utilizados os parâmetros carbono orgânico, razão C/N, e $\delta^{13}\text{C}$, uma vez que estas análises foram realizadas em todas as amostras de todos os testemunhos, tendo uma representação completa dos perfis, ao contrário das ligninas, que foram analisadas com uma resolução vertical menor em relação aos demais parâmetros. O cluster foi realizado separadamente para cada testemunho devido às diferentes profundidades de cada um (Anexos I a V). No testemunho C08 foram identificadas duas fases, separando as amostras mais recentes (2 a 10 cm – fase I), nas quais são observados os maiores valores de CO e C/N e os valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais leves, das mais antigas (14 a 28 cm – fase II). Nos outros testemunhos foram identificadas três fases deposicionais, em geral separando amostras superficiais mais recentes, intermediárias, e mais antigas, próximas à base dos testemunhos. (Tabela 3).

Tabela 3. Identificação de fases nos testemunhos do CELMM com base na análise de agrupamento.

Testemunho	Fases	Intervalo
C02	I	3 a 9 cm
	II	11 a 23 cm
	III	25 a 39 cm
C09	I	3 a 11 cm
	II	13 a 43 cm
	III	45 a 68 cm
C06	I	1 a 15 cm
	II	17 a 39 cm
	III	41 a 47 cm
C07	I	1 a 13 cm
	II	15 a 27 cm
	III	29 a 44 cm
C08	I	2 a 6 cm
	II	10 a 28 cm

Fonte: este estudo.

Nos testemunhos C02 e C09 a fase I corresponde à mesma profundidade, de 3 a 10 cm, com maiores valores de CO e $\delta^{13}\text{C}$, e menores de C/N. Neste caso pode-se dizer que a

matéria orgânica depositada recentemente tem a mesma origem em ambos os testemunhos, e mais do que isso, as condições de deposição foram semelhantes na área central da Lagoa Manguaba. No entanto, as fases II e III são diferenciadas, com a fase II abrangendo uma maior profundidade no testemunho C09. Essa diferença reflete o comportamento do $\delta^{13}\text{C}$, que no C02 apresenta uma tendência de aumento dos valores em direção à superfície na fase II, enquanto no C09 essa tendência é de diminuição na mesma fase (Figura 10).

Para os testemunhos C06 e C07 o cluster define a fase I com maiores valores de CO e $\delta^{13}\text{C}$, e menores valores de C/N. A fase II caracteriza-se por valores intermediários desses parâmetros no C06 e por valores mais altos de C/N no C07, enquanto a fase III é o oposto da fase I, ou seja, menores valores de CO e $\delta^{13}\text{C}$, e maiores valores de C/N (Figura 11).

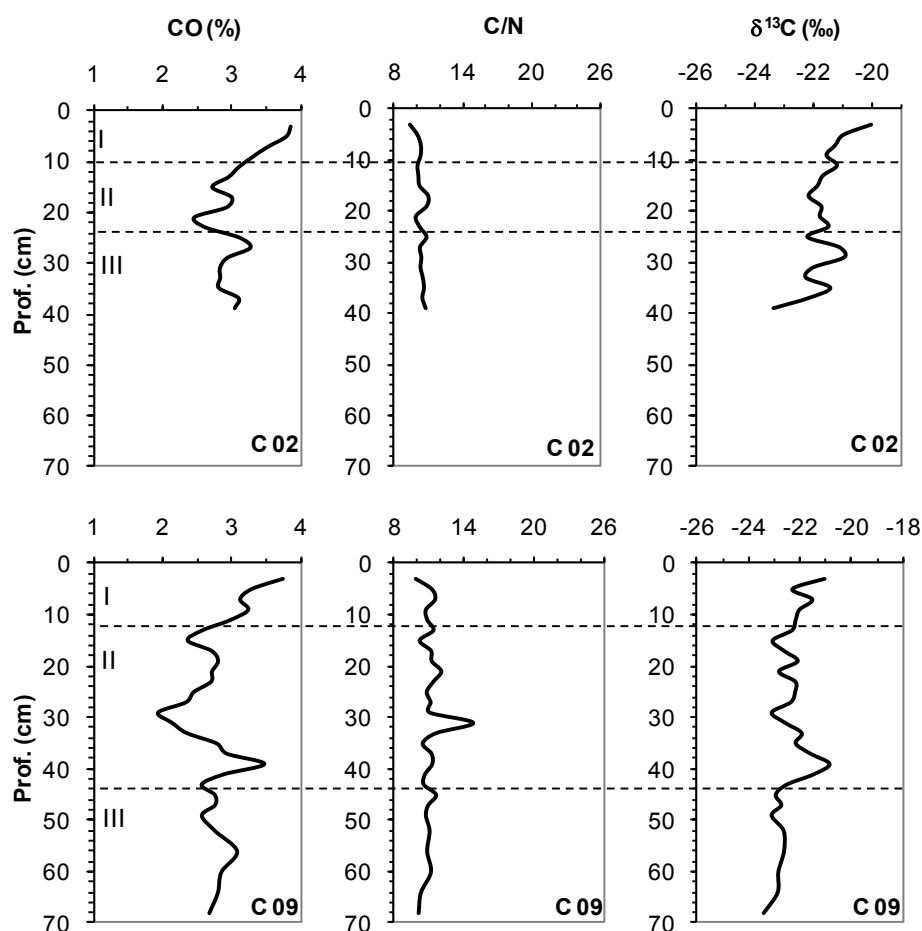


Figura 10. Distribuição vertical de carbono orgânico (CO), razão C/N (molar) e razão isotópica do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) nos testemunhos C02 e C09 na Lagoa Manguaba, bem como as fases deposicionais definidas pela análise de agrupamento (Anexos I e II).

Fonte: este estudo.

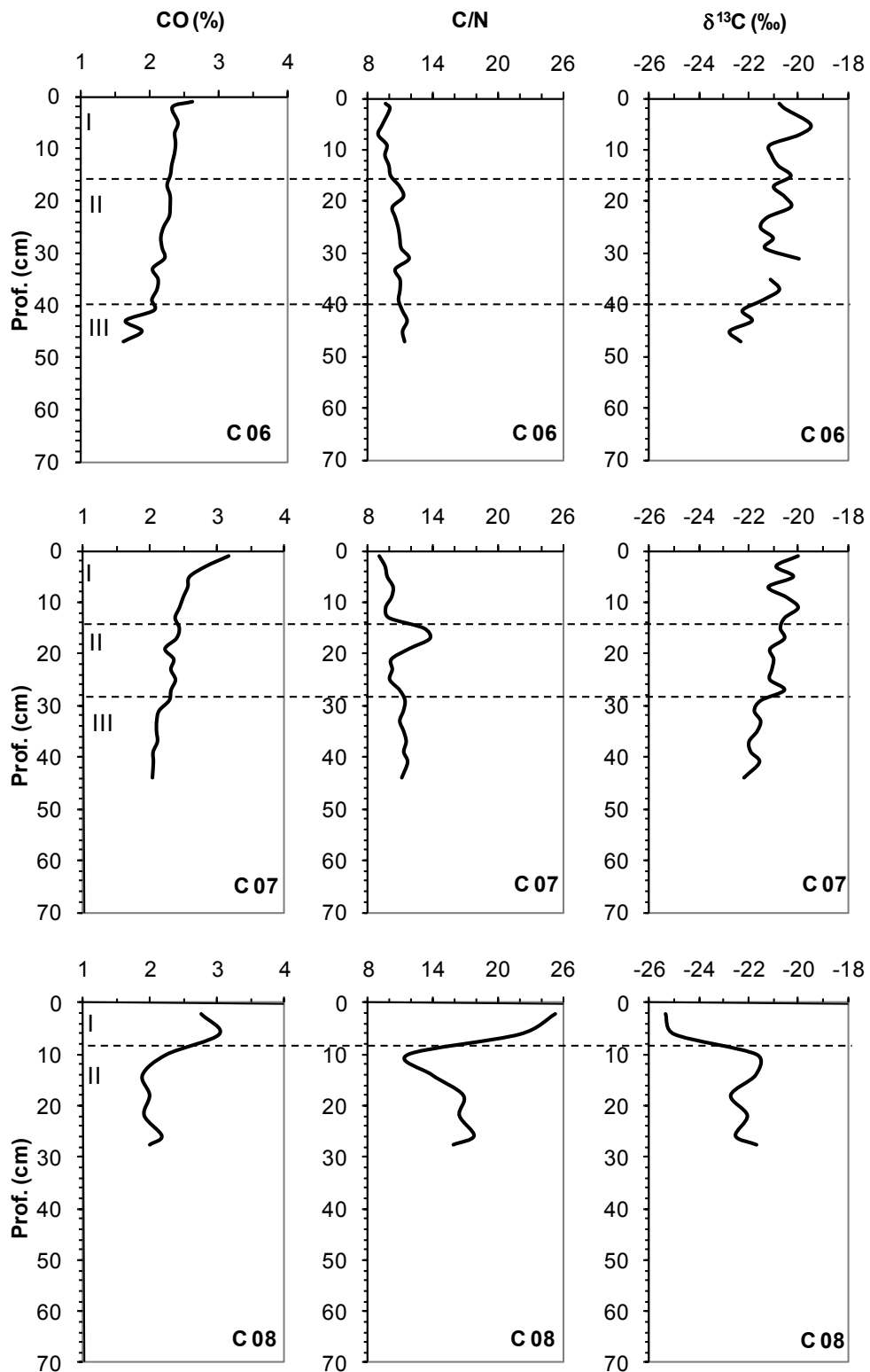


Figura 11. Distribuição vertical de carbono orgânico (CO), razão C/N (molar) e razão isotópica do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) nos testemunhos C08 no Rio Mundaú, e C06 e C07 na Lagoa Mundaú, bem como as fases deposicionais definidas pela análise de agrupamento (Anexos III, IV e V).

Fonte: este estudo.

5.3 COMPOSIÇÃO ELEMENTAR E ISOTÓPICA DA MATÉRIA ORGÂNICA

Os testemunhos amostrados apresentaram concentrações de carbono orgânico (CO) que variaram de 1,6 a 3,9 % (Tabela 4). Os maiores teores de CO foram observados nos testemunhos C02 ($3,1 \pm 0,4$) e C09 ($2,9 \pm 0,4$), ambos na Lagoa Manguaba. Já os menores valores foram encontrados no testemunho C06 ($2,1 \pm 0,3$), região central de Mundaú, mais especificamente em sua base. Nos perfis verticais verificou-se um ligeiro aumento de CO da base até o topo em todos os testemunhos (Figuras 10 e 11).

As razões C/N variaram de 8,9 a 25,3, sendo os maiores valores encontrados no testemunho C08 ($17,6 \pm 4,7$), na foz do Rio Mundaú, principalmente nas camadas mais superficiais (acima de 10 cm), com valores indicativos de contribuição de plantas terrestres. Em Manguaba os testemunhos C02 e C09 apresentam um perfil vertical de C/N homogêneo, com valores entre 9 e 11, exceto por um pico no testemunho C09, à aproximadamente 30 cm de profundidade. Já em Mundaú há uma tendência de diminuição das razões C/N da base até o topo dos testemunhos C06 e C07, com exceção da camada entre 20 e 15 cm de profundidade no C07.

Tabela 4. Valores máximos, mínimos e médios do teor de carbono orgânico, razão C/N e razão entre os isótopos estáveis do carbono para os testemunhos amostrados.

	CO	C/N	$\delta^{13}\text{C}$
	(%)	(molar)	(‰)
Manguaba			
C09 (n=17)	2,1 a 3,8 (2,9)	9,8 a 14,8 (10,9)	-23,4 a -20,9 (-22,4)
C02 (n=10)	2,6 a 3,9 (3,1)	9,4 a 10,8 (10,3)	-23,3 a -20,0 (-21,5)
Mundaú			
C06 (n=18)	1,6 a 2,6 (2,1)	8,9 a 11,8 (10,6)	-22,8 a -19,9 (-21,1)
C07 (n=12)	2,0 a 3,2 (2,4)	9,0 a 13,2 (10,8)	-22,2 a -20,0 (-21,1)
Rio Mundaú			
C08 (n=7)	1,9 a 3,0 (2,3)	11,7 a 25,3 (17,6)	-25,4 a -21,7 (-22,9)

Fonte: este estudo.

A razão entre os isótopos estáveis do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) variou entre -25,4 e -19,9 ‰ ao longo das colunas sedimentares. Com exceção do testemunho C08, houve uma tendência de aumento desses valores (do mais negativo para o menos negativo) da base até a superfície.

Em geral, maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram acompanhados por menores razões C/N, indicando a predominância de material fitoplanctônico no topo dos testemunhos e uma tendência de aumento da contribuição de material lignino-celulósico em direção à base dos mesmos. Somente o testemunho C08 apresentou uma tendência contrária, com contribuição de material vegetal terrestre em sua superfície, relacionado ao aporte do Rio Mundaú, e mais ao fundo observa-se uma maior contribuição de material fitoplanctônico.

5.4 CONCENTRAÇÃO E COMPOSIÇÃO DE LIGNINAS

A Tabela 5 apresenta os dados de lignino-fenóis observados neste estudo. A concentração total de ligninas em valores normalizados para o carbono orgânico (λ) foi relativamente baixa, variando de 0,1 a 1,1 mg/100 mg CO. Os maiores valores foram observados no testemunho C08 ($0,5 \pm 0,3$), que apresentou uma diminuição de λ da base em direção à superfície. A concentração de ligninas não mostrou distinção entre as lagoas Mundaú e Manguaba, sendo que os testemunhos C02, C09, C06 e C07 apresentaram a mesma média de valores (0,2 mg/100 mg CO) e pouca variação, com perfis verticais mais homogêneos (Figuras 12 e 13).

A concentração de monômeros totais por peso de sedimento seco (S8) pode dar uma informação mais quantitativa da matéria orgânica presente na forma de ligninas. O padrão de distribuição de ligninas por peso seco não é sempre igual ao observado para os valores normalizados para o carbono orgânico. Neste trabalho os valores de S8 variaram de 0,2 a 2,2 mg/10g peso seco. Os maiores valores de S8, ocorreram no testemunho C08. No entanto, a concentração de ligninas por peso seco na Lagoa Manguaba foi relativamente maior que na Lagoa Mundaú, diferentemente do verificado pelos valores de λ .

Dentre os fenóis que compõem a concentração total de ligninas (λ), o grupo siringil (S), característico de plantas lenhosas, foi o que ocorreu em maiores concentrações (Tabela 5). Já o grupo cinamil (C), característico de plantas não lenhosas, foi o que apresentou as menores concentrações em todos os testemunhos. A maior concentração do grupo siringil ocorreu no testemunho C08, cujo perfil vertical acompanhou a tendência do λ (Figuras 12 e 13), com maiores concentrações em direção à base do testemunho, evidenciando o aporte de material terrestre pelo Rio Mundaú.

As razões entre os grupos fenólicos (S/V e C/V) são utilizadas para verificar a contribuição relativa de angiospermas e gimnospermas lenhosas e não-lenhosas. As razões S/V (siringil/vanilil) foram sempre maiores que as razões C/V (cinamil/vanilil), com valores que confirmam a contribuição de angiospermas nos sedimentos do CELMM. Os maiores valores de S/V foram observados no testemunho C07, na Lagoa Mundaú, enquanto os menores valores ocorreram no testemunho C08. Já as razões C/V (cinamil/vanilil) variaram de 0,1 a 1,1 com os maiores valores ocorrendo no testemunho C06, e os menores no C08.

Com relação à distribuição vertical das razões S/V, em Manguaba o testemunho C02 não apresenta uma tendência clara de distribuição entre 40 a 15 cm, enquanto há uma ligeira diminuição de valores acima de 15 cm. No testemunho C09 observa-se um leve aumento dessas razões em direção à superfície. Já na Lagoa Mundaú o testemunho C06 não apresenta nenhuma tendência ao longo do seu perfil, enquanto no C07 observa-se uma distribuição homogênea na superfície (acima de 15 cm) e no fundo (45 a 35 cm), com grande variação entre 30 e 15 cm. No testemunho C08 podem ser observadas duas fases: de 30 a 10 cm há uma distribuição homogênea, e na camada mais superficial (acima de 10 cm) há uma leve diminuição das razões S/V.

As razões C/V em Manguaba apresentaram um ligeiro aumento de valores em direção à superfície. Em Mundaú o testemunho C06 apresentou grande variação dessas razões com alternância entre fases de aumento e diminuição de valores da base até o topo. No testemunho C07 os valores tendem a aumentar entre 45 e 27 cm, havendo uma distribuição mais homogênea acima dessa profundidade. No Rio Mundaú não se observa nenhuma tendência de 30 a 18 cm, e acima dessa profundidade as razões C/V diminuem até a superfície.

As razões entre as formas ácida e aldeídica do grupo vanilil (Ad/Al)_v encontradas foram acima de 0.4 em sua maioria, indicando a presença de ligninas já degradadas (HEDGES e PRAHL, 1993). No entanto pode-se observar um maior grau de degradação em Mundaú que em Manguaba, já que estas razões foram relativamente maiores nos testemunhos C06 e C07.

Nos perfis verticais das razões (Ad/Al)_v pode-se observar no C02 uma distribuição homogênea no fundo (40 a 31 cm) e outra na superfície (acima de 11 cm), alternadas por uma fase intermediária de maior variação. No C09 não se observa nenhuma tendência na distribuição vertical, porém os valores são ligeiramente maiores em relação ao C02. Em Mundaú, observa-se no C06 uma fase de declínio dessas razões entre 50 e 31 cm, e logo após há uma fase de aumento de valores até aproximadamente 10 cm, sem um padrão claro de

distribuição na superfície. No testemunho C08 há uma distribuição relativamente homogênea ao longo do perfil.

Tabela 5. Valores mínimos, máximos e médios dos grupos fenólicos da lignina (V, S, C), concentração total de ligninas normalizada para o carbono (λ) e por peso seco (S8), razões entre os grupos fenólicos e razão entre as formas ácida e aldeídica do grupo vanilil ([Ad/Al]v).

	mg/100mg CO				mg/10g peso seco
	V	S	C	λ	S8
Manguaba					
<i>C09 (n=17)</i>	0,06 a 0,11 (0,08)	0,08 a 0,15 (0,11)	0,02 a 0,04 (0,03)	0,2 a 0,3 (0,2)	0,5 a 0,9 (0,6)
<i>C02 (n=10)</i>	0,07 a 0,10 (0,09)	0,10 a 0,13 (0,11)	0,02 a 0,05 (0,04)	0,2 a 0,3 (0,2)	0,5 a 1,0 (0,7)
Mundaú					
<i>C06 (n=18)</i>	0,04 a 0,13 (0,06)	0,06 a 0,21 (0,10)	0,02 a 0,07 (0,04)	0,1 a 0,4 (0,2)	0,2 a 0,9 (0,4)
<i>C07 (n=12)</i>	0,03 a 0,07 (0,05)	0,04 a 0,17 (0,10)	0,01 a 0,04 (0,03)	0,1 a 0,3 (0,2)	0,3 a 0,6 (0,4)
Rio Mundaú					
<i>C08 (n=7)</i>	0,10 a 0,47 (0,23)	0,09 a 0,50 (0,23)	0,01 a 0,14 (0,06)	0,2 a 1,1 (0,5)	0,5 a 2,2 (1,1)
	Razões				
Manguaba	S/V	C/V	(Ad/Al)v		
<i>C09 (n=17)</i>	1,0 a 1,8 (1,4)	0,3 a 0,7 (0,4)	0,5 a 1,0 (0,7)		
<i>C02 (n=10)</i>	1,1 a 1,5 (1,3)	0,2 a 0,6 (0,4)	0,4 a 0,8 (0,5)		
Mundaú					
<i>C06 (n=18)</i>	1,3 a 1,8 (1,5)	0,4 a 1,1 (0,7)	0,6 a 2,0 (1,2)		
<i>C07 (n=12)</i>	1,2 a 2,7 (1,7)	0,3 a 0,7 (0,5)	0,6 a 1,3 (0,9)		
Rio Mundaú					
<i>C08 (n=7)</i>	0,9 a 1,2 (1,0)	0,1 a 0,4 (0,3)	0,2 a 0,6 (0,5)		

Fonte: este estudo.

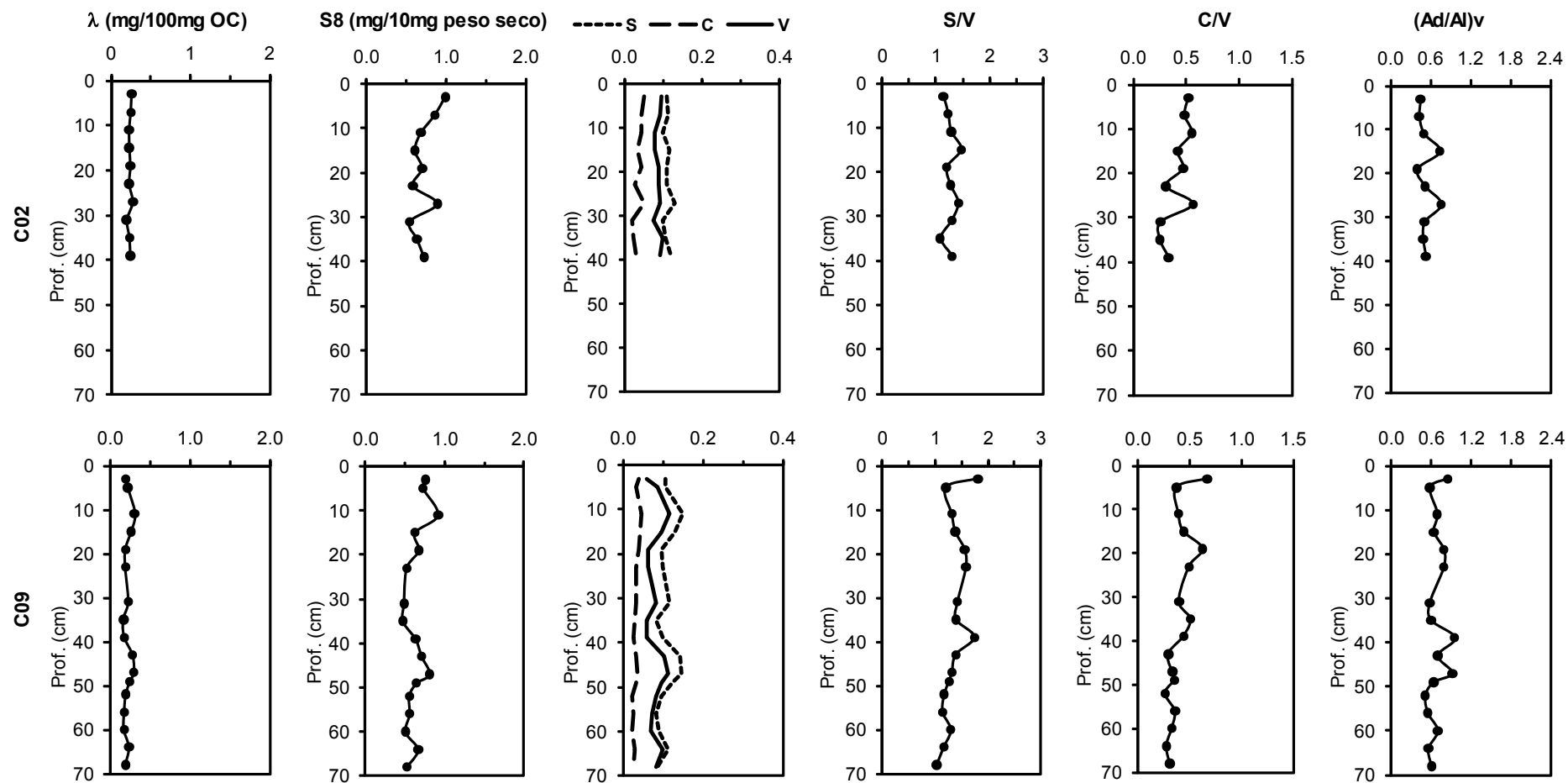


Figura 12. Distribuição vertical da concentração de ligninas normalizadas para o carbono orgânico (λ) e por peso seco (S8), concentrações dos grupos fenólicos S, C e V, e razões S/V, C/V e (Ad/Al)v para os testemunhos C02 e C09 na Lagoa Manguaba.

Fonte: este estudo.

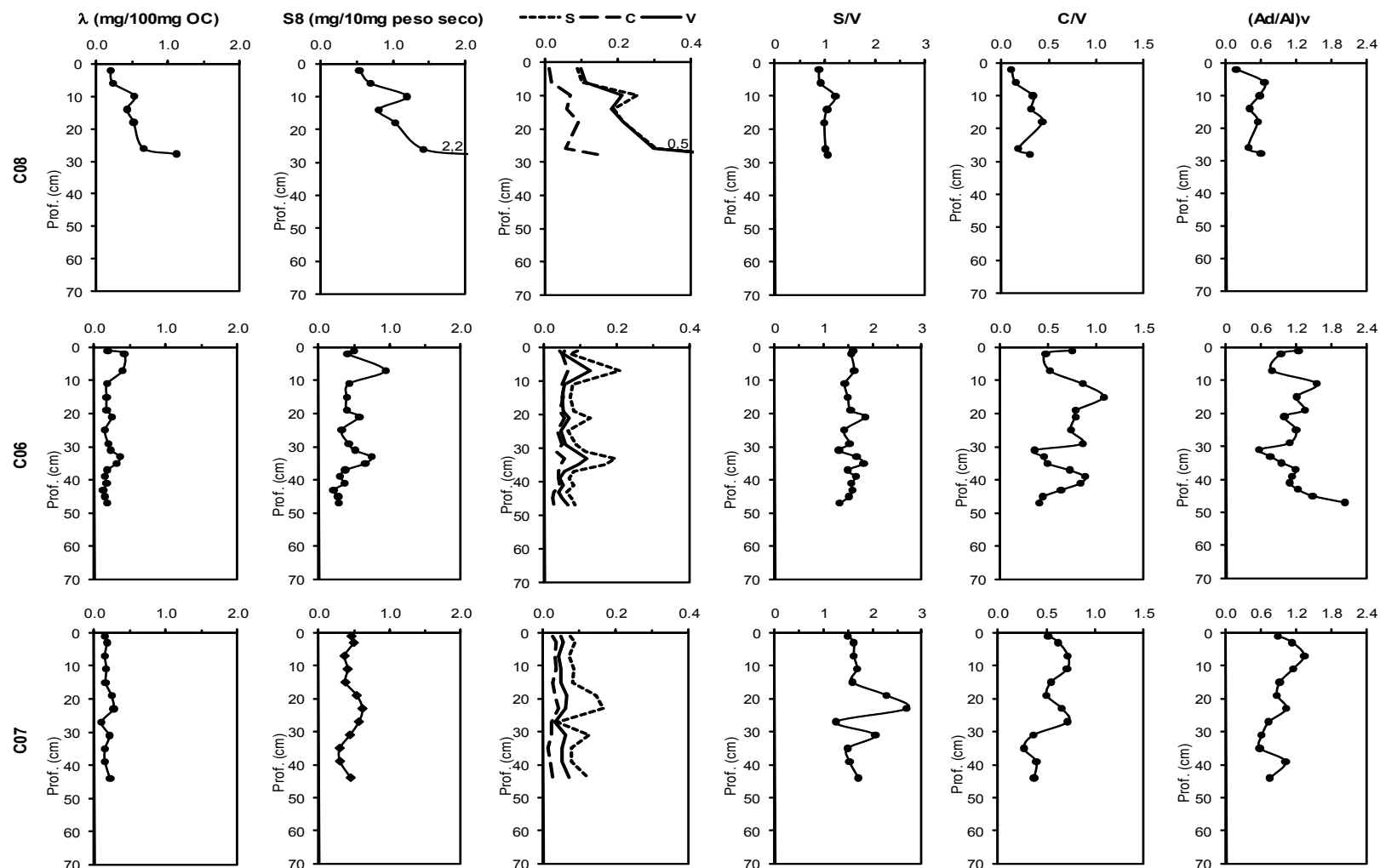


Figura 13. Distribuição vertical da concentração de ligninas normalizadas para o carbono orgânico (λ) e por peso seco (S8), concentrações dos grupos fenólicos S, C e V, e razões S/V, C/V e (Ad/Al)v para os testemunhos C08 no Rio Mundaú, e C06 e C07 na Lagoa Mundaú.

Fonte: este estudo.

A Tabela 6 apresenta os resultados de carbono orgânico e ligninas para o vinhoto. A concentração total de ligninas normalizada para o carbono orgânico (λ) foi de 0,6 mg/100mg CO, um valor abaixo do esperado considerando-se a composição mediana de ligninas do vinhoto como de aproximadamente 16%. No entanto, o valor de S8 foi de 28,2 mg/10g peso seco, contrastando com o valor de λ . A razão S/V foi maior que a razão C/V. A taxa de degradação de ligninas para o vinhoto foi relativamente alta ($[Ad/Al]_v = 3,0$), em comparação à encontrada nos testemunhos.

Tabela 6. Teor de carbono orgânico e composição de ligninas para o vinhoto.

	Vinhoto
<i>CO (%)</i>	45
<i>λ (mg/100mg CO)</i>	0,6
<i>S8 (mg/10g peso seco)</i>	28,2
<i>S/V</i>	1,7
<i>C/V</i>	0,8
<i>(Ad/Al)_v</i>	3,0

Fonte: este estudo.

5.5 TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO

As atividades de $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$ variaram de 56 a 244 Bq/kg, enquanto as do ^{226}Ra variaram de 12 a 47 Bq/kg. O ^{210}Pb em excesso ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) variou de 36 Bq/kg entre 46-48 cm do testemunho C06 até o valor máximo de 231 Bq/kg entre 6-8 cm do testemunho C02. Nenhum pico bem definido de ^{137}Cs foi encontrado. Os perfis de decaimento só puderam ser estabelecidos para três testemunhos: C02, C06 e C07 (Figura 14).

Todos os perfis de $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ apresentaram perturbações pelo menos em algum trecho e a maioria não apresenta um perfil de decaimento bem definido, indicando desequilíbrio secular (APPLEBY E OLDFIELD, 1992), corroborado pelos perfis de ^{137}Cs . De acordo com Ravichandram *et al.* (1995), não é possível estimar taxas de sedimentação em perfis variáveis, no entanto, pode-se identificar períodos deposicionais alternados com períodos erosivos em alguns dos perfis. Para esses períodos deposicionais as taxas de sedimentação foram calculadas pelo modelo Concentração Inicial Constante (CIC) com o radioisótopo ^{210}Pb (Tabela 7).

O testemunho C02 apresentou um perfil aparentemente com pouca perturbação, sendo possível calcular a taxa de sedimentação para o perfil inteiro (0 a 40 cm), obtendo-se uma estimativa da cronologia de deposição das colunas sedimentares. O testemunho C06 demonstra grande perturbação acima de 35 cm, sendo possível a estimativa de taxa de sedimentação somente para as camadas da base do testemunho. Já o testemunho C07 apresenta dois intervalos deposicionais com diferentes taxas de sedimentação. Não foi possível estabelecer taxas de sedimentação para o testemunho C08 devido à heterogeneidade de sua distribuição granulométrica, com predominância de silte e areia.

Tabela 7. Estimativas de taxas de sedimentação (cm/ano) para os testemunhos C02 na Lagoa Manguaba, e C06 e C07 na Lagoa Mundaú.

Testemunho (Prof.)	Intervalo	n	Sedimentação (cm/ano)
C02 0 a 40 cm	6-20 cm	4	0.54
	20-26 cm	2	0.7
	30-36 cm	2	0.39
	0-40 cm	19	1.27
C06 0 a 48 cm	36-48 cm	6	0.27
C07 0 a 46 cm	6-22 cm	4	1.22
	22-28 cm	2	0.26

Fonte: este estudo.

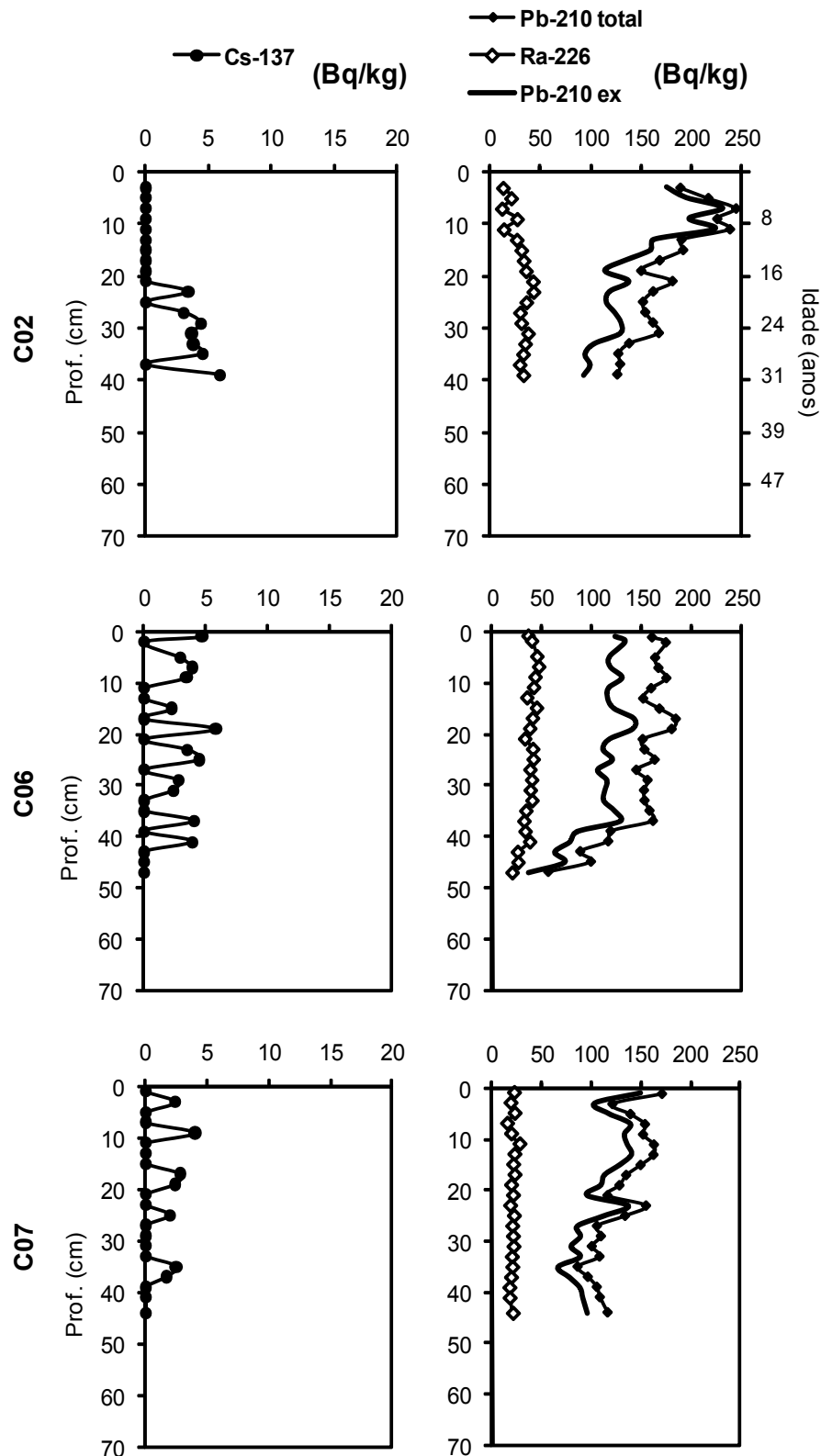


Figura 14. Perfis de $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$, ^{226}Ra , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ e ^{137}Cs para os testemunhos C02 na Lagoa Manguaba, e C06 e C07 na Lagoa Mundaú.

Fonte: este estudo.

6 DISCUSSÃO

6.1 ORIGEM DA MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS DO CELMM

O Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, uma vez localizado na interface continente-oceano, é receptor de diversas fontes de matéria orgânica, sendo essas fontes de origem autóctone e/ou alóctone. Os rios são importantes transportadores de material alóctone, trazendo para dentro do sistema o material lixiviado dos solos ao longo das bacias de drenagem, que atinge os rios por escoamento superficial. Plantas terrestres são as maiores contribuintes de matéria orgânica para os solos (HEDGES e OADES, 1997), de modo que a caracterização dos mesmos torna-se uma ferramenta a mais na determinação dos tipos vegetais que predominam em determinada região, bem como os seus principais usos e tipos de ocupação.

Amostras de solo no entorno das Lagoas Mundaú e Manguaba foram analisadas por Nazário (2008) quanto à granulometria, teor de matéria orgânica, carbono orgânico e nitrogênio total, $\delta^{13}\text{C}$ e ligninas. As amostras são representativas de diferentes estágios do plantio da cana, bem como do período pós-queimada, ripas de cana e caxixe, que consiste na fase do solo anterior ao plantio, no qual são adicionados fertilizantes, fibras de cana e vinhoto. A tabela 8 apresenta os diferentes estágios do solo e os parâmetros obtidos para cada amostra.

A partir desse estudo observou-se um valor de $\delta^{13}\text{C}$ de aproximadamente -15,5‰ para as amostras de solo, o que caracteriza o tipo de vegetação na área como predominantemente composto por gramíneas tipo C_4 , além de estar de acordo com a faixa de valores observada por Queen (1988) para solos cultivados com cana de açúcar. A razão C/N foi de aproximadamente 16, sendo o maior valor observado para a amostra de caxixe, com uma razão de 22:1. A amostra de caxixe também foi a mais rica em matéria orgânica, inclusive

apresentando a maior concentração de ligninas. Na maioria das amostras as razões C/V foram maiores que as razões S/V, o que é característico de plantas C₄, como a cana de açúcar. Além disso, evidenciou-se um maior teor de carbono orgânico e ligninas de acordo com o maior desenvolvimento das plantas.

Tabela 8. Teor de matéria orgânica (MO), granulometria, razão C/N, $\delta^{13}\text{C}$ e ligninas das amostras de solo em diversos estágios de desenvolvimento da cana de açúcar (c.a.) e uso do solo.

Estágio do solo	MO (%)	Areia (%)	Lama (%)	C/N	$\delta^{13}\text{C}$	λ (mg/100 mg CO)	C/V	S/V	(Ad/Al)v
Sem plantas	4.3	91.7	8.2	13.0	-14.7	1.3	1.2	1.2	0.9
CA 20 cm	5.6	85.2	14.7	12.1	-17.1	0.9	3.0	1.4	0.5
CA 100 cm	5.2	82.6	17.4	13.1	-12.6	1.2	2.0	0.9	0.5
CA 200 cm	3.6	86.6	13.4	17.5	-16.2	2.2	0.5	1.4	0.7
CA 250 cm	6.0	30.2	69.8	12.8	-16.8	2.1	0.7	1.0	1.1
Pós-queimada	5.3	0.0	100	7.3	-20.4	0.5	1.8	0.8	0.4
Caxixe	89.5	0.9	99.1	21.9	-16.9	4.0	6.6	15.2	0.1
Ripas de c.a.	11.4	48.5	51.5	13.0	-5.3	1.0	1.8	1.2	1.4

Fonte: Adaptado de Nazário, 2008.

Dessa forma, pode-se dizer que as amostras de solo ao redor do CELMM apresentam sinais próximos aos da cana de açúcar, podendo constituir uma das principais fontes de matéria orgânica alóctone para as lagunas. Para verificar a contribuição de diferentes fontes de matéria orgânica em amostras sedimentares pode-se aplicar o modelo de mistura de duas fontes principais (MARTINELLI *et al.*, 2009), considerando, neste caso, o valor de -15‰ como representativo dos solos cultivados com cana de açúcar e -26‰ para solos sem influência dessa cultura (NAZÁRIO, 2008).

Para o Rio Mundaú o modelo de mistura indicou uma contribuição menor que 10% dos solos com cana de açúcar nas camadas mais superficiais, que corresponderiam à fase I definida pela análise de agrupamento, enquanto na fase II essa contribuição seria de até 40%. Ou seja, parece haver uma influência maior de outros tipos vegetais que não a cana de açúcar na matéria orgânica sedimentar do Rio Mundaú, como será discutido posteriormente.

Verificando-se as amostras de sedimento do Rio Mundaú observa-se que estas apresentam uma razão C/N próxima à observada para as amostras de solo, mais elevada do que a encontrada nos sedimentos lagunares, o que sugere grande contribuição de restos vegetais (SÁNCHEZ-GARCÍA *et al.*, 2009). No entanto, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das amostras do

rio possuem um sinal isotópico mais leve em relação ao dos solos, podendo indicar alguma mistura de fontes de MO, principalmente na fase II. Na fase I os valores estão de acordo com o normalmente verificado em rios tropicais, entre -25 e -27‰ de acordo com a literatura.

Nas lagunas, a composição granulométrica com 100% de finos demonstra a menor hidrodinâmica local, onde o material trazido pelos rios é preferencialmente depositado, favorecendo a acumulação de matéria orgânica. No entanto, a composição dessa matéria orgânica, definida em termos qualitativos, fornece melhores informações a cerca da sua origem nos sedimentos. Na figura 15 evidencia-se a alta correlação entre os teores de carbono orgânico e nitrogênio total nos sedimentos finos das lagunas, enquanto nos sedimentos mais arenosos do Rio Mundaú não há correlação aparente, além de menores teores de matéria orgânica. As proporções constantes de CO e N nos sedimentos das lagunares indicam a predominância da forma orgânica do nitrogênio, uma vez que os valores tendem a interceptar o zero (ANDREWS *et al.*, 1998; BERGAMASCHI *et al.*, 1997; GOÑI *et al.*, 2003).

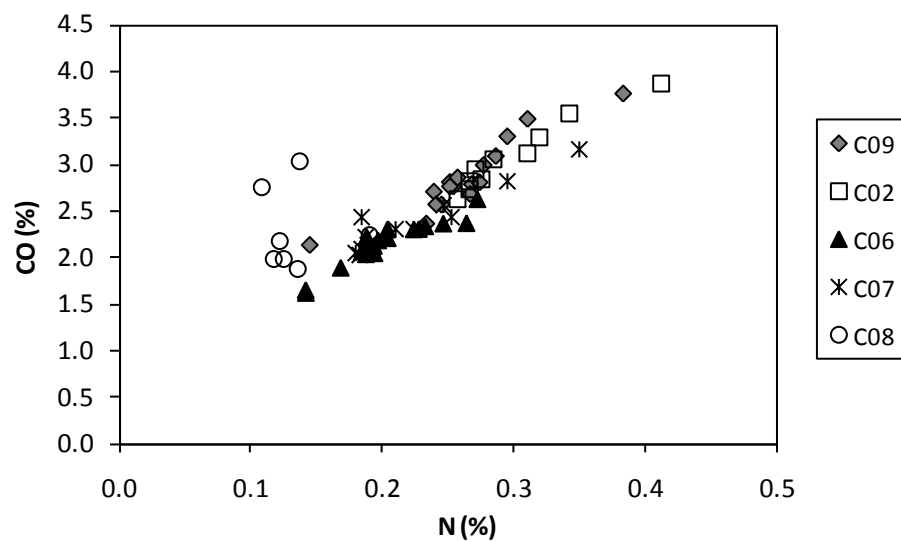


Figura 15. Correlação entre carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (N) nos sedimentos do CELMM.

Fonte: este estudo.

A razão entre o carbono orgânico e o nitrogênio total pode ser utilizada para distinguir entre o material proveniente de algas e plantas terrestres, uma vez que estas são ricas em celulose e pobres em nitrogênio, geralmente apresentando uma razão C/N maior que 20 (HEDGES *et al.*, 1986). Somente nas amostras superficiais (fase I) do Rio Mundaú foram

observadas razões C/N acima de 20, as quais foram acompanhadas de valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais leves, enquanto a fase II apresenta razões C/N um pouco menores, (entre 12 e 18), acompanhadas de valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais pesados. Dessa forma, na fase I do testemunho C08 evidencia-se uma composição diferenciada, com presença de fragmentos vegetais relacionados com a fração arenosa, permitindo verificar que o Rio Mundaú é um local de maior hidrodinâmica e provavelmente de intensa mistura de materiais (KEIL *et al.*, 1998; MEYERS, 1994).

Nas Lagoas Mundaú e Manguaba as razões C/N foram mais baixas (~11), indicando uma maior contribuição fitoplanctônica do que de plantas terrestres. No entanto, a razão C/N possui algumas restrições, já que durante a degradação da matéria orgânica o material de plantas vasculares tende a ganhar nitrogênio, enquanto o material fitoplanctônico tende a perder esse elemento, contribuindo para a diminuição e o aumento dessa razão, respectivamente (MEYERS, 2003; HEGDES *et al.*, 1997). Além disso, a razão CO:N_{total} poderia diminuir também em função da presença de nitrogênio inorgânico, o que não parece provável neste estudo devido à alta correlação já mencionada anteriormente entre o carbono orgânico e o nitrogênio total.

De uma forma geral, maiores valores de C/N foram acompanhadas de valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais leves em direção a base dos testemunhos, inclusive com correlação negativa do $\delta^{13}\text{C}$ com a profundidade dos testemunhos ($r = -0,583$ em Manguaba, e $r = -0,730$ em Mundaú; $p < 0,01$) (Anexos VI e VII), podendo indicar alguma perda de nitrogênio por transformação diagenética nas camadas mais profundas ou mesmo uma alteração de fonte de matéria orgânica. A comparação entre as razões C/N e o $\delta^{13}\text{C}$ propicia melhor entendimento e interpretação dos valores, já que teoricamente o $\delta^{13}\text{C}$ não é influenciado pelo transporte de partículas, que por sua vez influencia a granulometria do sedimento, e não sofre efeitos diagenéticos significantes, além de abranger somente o carbono (MEYERS, 1997; THORNTON e MCMANUS, 1994).

No entanto, de acordo com a literatura a utilização da razão N/C contra o $\delta^{13}\text{C}$ fornece uma informação mais robusta acerca do conteúdo das amostras sedimentares, pois ambos os parâmetros são normalizados para o carbono, possuindo um denominador comum (GOÑI *et al.*, 2003; PERDUE e KOPRIVNJAK, 2007). Na figura 16 estão plotadas as amostras sedimentares do CELMM e as faixas esperadas para cada tipo de fonte de matéria orgânica, de acordo com Tesi *et al.* (2007a). Observa-se que somente as amostras da fase I do Rio Mundaú, mais recentes, possuem uma composição mais clara, proveniente de fragmentos de

plantas C₃. O restante das amostras parece ter grande mistura de material, tanto terrestre quanto aquático, já que apresentam valores intermediários aos estabelecidos para cada tipo de fonte. Considerando-se somente os valores de $\delta^{13}\text{C}$ pode-se dizer que as amostras apresentam maior influência de fontes fitoplanctônicas, com pequena diferença entre as lagunas, ocorrendo valores mais leves em Manguaba e mais pesados em Mundaú.

De fato, aplicando-se o modelo de mistura de duas fontes (fitoplâncton e rios) para o $\delta^{13}\text{C}$ das lagunas verifica-se uma maior contribuição de material autóctone nos sedimentos mais recentes, com progressiva diminuição dessa contribuição conforme o aumento da profundidade, de forma que a fase III dos testemunhos apresenta as menores contribuições de material fitoplanctônico. Em Mundaú, a produção primária autóctone contribuiu com um mínimo de 50% e um máximo de 100% para matéria orgânica sedimentar, e em Manguaba essa contribuição variou de 40 a 92%. Ao todo as médias foram acima de 56%, indicando a predominância de material autóctone para as lagunas.

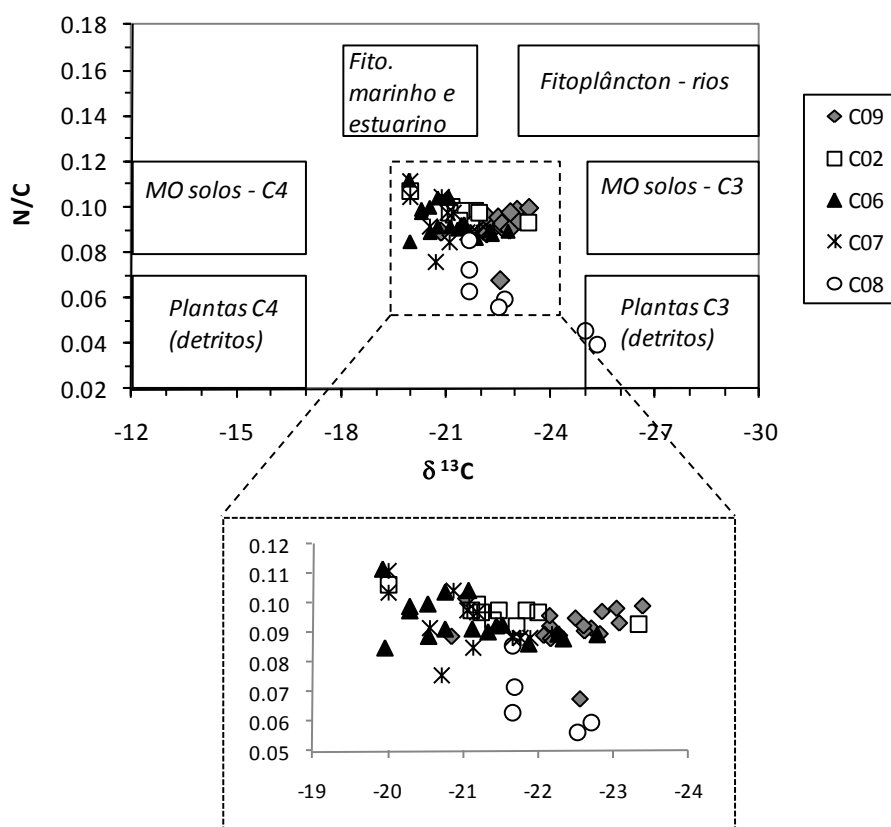


Figura 16. Relação entre razão N/C e $\delta^{13}\text{C}$ nos sedimentos do CELMM. Fito. (fitoplâncton), MO (matéria orgânica).

Fonte: este estudo.

Comparando-se a assinatura da composição elementar e isotópica da matéria orgânica encontrada na Lagoa Mundaú com a do Rio Mundaú, verifica-se a grande diferença composicional desses sedimentos, principalmente na fase I dos testemunhos, com maior contribuição de material vegetal no rio e maior contribuição de material algal na laguna. Apesar de o Rio Mundaú ser a principal fonte de material alóctone para esta laguna, o material que nele chega é passível de diluição e degradação, além de sofrer processos de fracionamento relacionados a granulometria, estando sujeito a diferentes taxas de transporte e sedimentação (BERGAMASCHI *et al.*, 1996; HEDGES *et al.*, 1997). Assim, a origem e o local de deposição de materiais associados com diferentes tamanhos de partículas serão distintos.

Os compostos fenólicos da lignina têm sido utilizados frequentemente como traçadores mais sensíveis e específicos para identificar a contribuição da matéria orgânica terrestre em sedimentos (BIANCHI *et al.*, 1999; GOÑI *et al.* 2003; KUZYK *et al.*, 2008; PEMPKOWIAK *et al.*, 2006). A oxidação da lignina sob condições alcalinas gera oito fenóis principais, que formam os grupos vanilil (V), siringil (S) e cinamil (C). A soma destes grupos gera um parâmetro denominado λ (λ), definido como a concentração de monômeros totais normalizada para o carbono orgânico, a qual fornece uma informação qualitativa da matéria orgânica presente em determinado local (BIANCHI *et al.*, 1997; KEIL *et al.*, 1998).

Neste estudo a concentração de ligninas foi relativamente baixa, o que de acordo com MEYERS (1997) indica que o aporte ou a contribuição de matéria orgânica de plantas terrestres para o sistema foi pequeno no período considerado. Além disso, a distribuição vertical de λ não acompanhou as variações de carbono orgânico, corroborando com os dados da razão C/N e do $\delta^{13}\text{C}$, indicativos de contribuição predominantemente autóctone para a matéria orgânica sedimentar das Lagoas Mundaú e Manguaba. No entanto, a presença de fenóis da lignina significa que a contribuição de material alóctone existe, porém o mesmo pode estar sofrendo diluição e degradação ao longo do transporte e deposição, e por isso acaba sendo encontrado em baixas concentrações.

A figura 17 ilustra a relação entre a concentração total de ligninas (λ) e o $\delta^{13}\text{C}$, bem como entre a razão N/C. Fontes terrestres geralmente apresentam maiores valores de λ (>1 mg/100 mg CO), acompanhados de menores razões N/C (<0,07) e valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais leves (entre -25 e -30 ‰), no caso de plantas C₃, e mais pesados (entre -12 e 17 ‰), no caso de plantas C₄. Já o fitoplâncton diferencia-se por apresentar pouca ou nenhuma concentração de lignino-fenóis, além de razões N/C de aproximadamente 0,15 e valores de $\delta^{13}\text{C}$ intermediários

aos das plantas C_3 e C_4 (TESI *et al.*, 2007b; TESI *et al.*, 2008). No entanto, não foi possível estabelecer relações entre as ligninas e a composição elementar e isotópica da matéria orgânica neste trabalho, devido à pequena faixa de variação de ligninas totais encontradas nos sedimentos do CELMM. Além disso, as ligninas presentes podem estar em estado avançado de degradação, o que será discutido posteriormente.

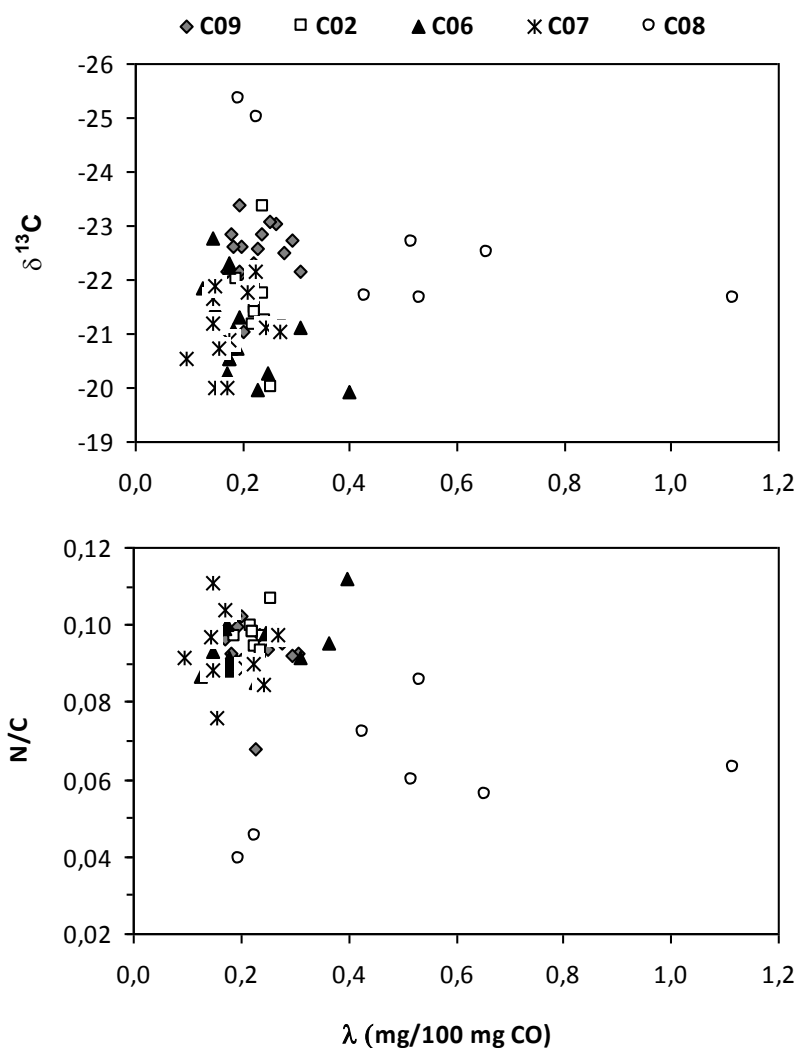


Figura 17. Relação entre $\delta^{13}C$, razão C/N e a concentração total de ligninas em mg/100 mg de CO (λ) nos sedimentos do CELMM.

Fonte: este estudo.

A caracterização qualitativa das ligninas é dada pelas concentrações dos grupos fenólicos e pela relação entre eles, as quais se modificam dependendo do tipo vegetal

predominante. A figura 18 apresenta a relação entre as razões S/V (siringil/vanilil) e C/V (cinamil/vanilil) para as amostras sedimentares do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba e dos solos analisados por Nazário (2008). De acordo com as faixas de variação para os grupos vegetais propostas por Hedges *et al.* (1988), as amostras de solo se encontram dentro da faixa esperada para angiospermas não lenhosas, enquanto as amostras de sedimento apresentam uma composição variável, com mistura de angiospermas lenhosas e não lenhosas.

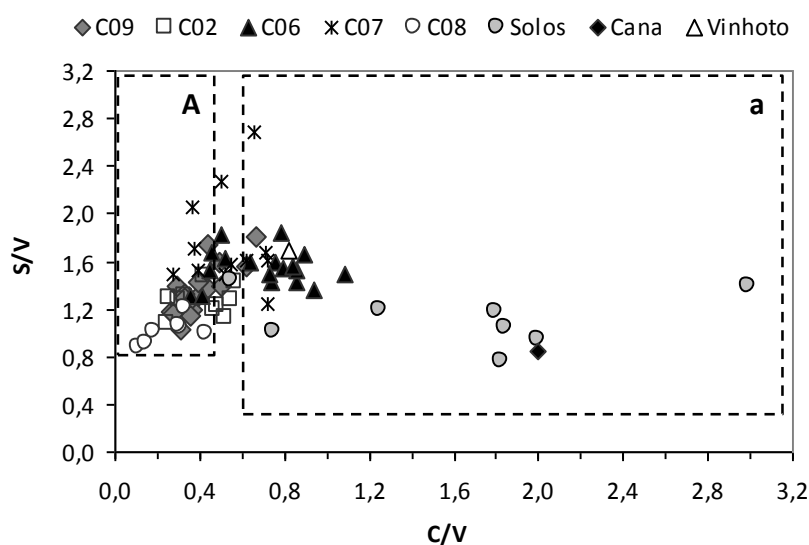


Figura 18. Relação entre as razões S/V e C/V dos sedimentos e amostras de solo do CELMM, da cana de açúcar e do vinhoto. Angiospermas lenhosas (A), angiospermas não lenhosas (a).

Fonte: este estudo.

Os solos apresentam uma composição mais foliar, provavelmente relacionada com a presença de gramíneas como a cana de açúcar, uma angiosperma não lenhosa. De fato, as razões S/V e C/V da própria cana de açúcar, obtidas por Bernardes (2000), se encontram próximas às observadas para algumas amostras de solo aqui apresentadas.

No Rio Mundaú os sedimentos demonstram apenas a contribuição de angiospermas lenhosas (Figura 18), confirmando que os solos com cultivados com cana de açúcar não constituem as principais fontes de MO terrestre para esse rio, como observado também pelo $\delta^{13}\text{C}$, e talvez outro tipo de vegetação em sua margem esteja contribuindo para essa assinatura.

Nos sedimentos das lagunas também não se observa a contribuição da matéria orgânica dos solos, como já era esperado pelos sinais encontrados nos dados da razão C/N e

do $\delta^{13}\text{C}$ apresentados anteriormente. Não há uma tendência clara de distribuição de fontes de angiospermas lenhosas e não lenhosas com relação à profundidade dos testemunhos, havendo uma grande mistura ao longo dos perfis. A observação que pode ser feita é que na base de todos os testemunhos verifica-se a presença de angiospermas lenhosas (Figuras 12 e 13), provavelmente relacionada à vegetação original da bacia de drenagem do CELMM, anteriormente à expansão da atividade canavieira. Também não há relação com a separação de fases definidas pela análise de agrupamento. É importante ressaltar que, para melhores conclusões acerca das fontes de matéria orgânica terrestre para o CELMM, se faz necessária a caracterização tanto elementar, quanto isotópica e molecular de todas as possíveis fontes no entorno do sistema, como por exemplo, a mata ciliar dos rios e das lagoas, plantas de manguezal, vegetações dos tabuleiros, entre outras. Além disso, o melhor entendimento dos processos biogeoquímicos que ocorrem no sistema, como a degradação da MO na coluna d'água e no sedimento e a produção primária, devem trazer grande contribuição a este estudo.

De uma forma geral, os parâmetros investigados ao longo dos testemunhos do CELMM estão coerentes com os valores reportados para outros sistemas costeiros e estuarinos (Tabela 9). Os valores de C/N e $\delta^{13}\text{C}$ encontrados no Rio Mundaú estão de acordo com a faixa de variação normalmente observada para rios tropicais. Já para as Lagoas Mundaú e Manguaba estes resultados se encontram dentro do esperado para ambientes estuarinos. Comparando-se com outras lagoas costeiras cuja principal fonte de produção autóctone é o fitoplâncton, verifica-se ainda maior proximidade de resultados. Como era de se esperar, os fenóis da lignina ocorreram em concentrações menores em relação à Baía de Guaratuba (PR), local com grande influência de manguezais. Porém, os valores também são menores comparados ao estuário do Rio São Francisco (SE/AL), um sistema oligotrófico e aberto, ao contrário do CELMM, que é um sistema enclausurado e com estado trófico que varia de meso a eutrófico. A menor concentração de ligninas no CELMM pode estar relacionada à maior taxa de degradação das mesmas encontrada neste local em relação ao estuário do Rio São Francisco.

Tabela 9. Comparação dos valores médios de carbono orgânico (CO), razão C/N, $\delta^{13}\text{C}$ e fenóis da lignina entre os compartimentos do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba e outros sistemas costeiros.

Local	Observação	CO (%)	C/N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Ligninas			
					λ	C/V	S/V	(Ad/Al)v
¹ Baía de Guaratuba (PR)	<i>Rios</i>	5.0	18.2	-28.2	4.61	0.26	1.15	0.10
	<i>Manguezais</i>	3.6	17.2	-25.9	3.83	0.28	0.92	0.32
	<i>Estuário</i>	1.4	12.2	-26.2	3.00	0.46	1.05	0.09
	<i>Mar</i>	1.3	8.6	-22.4	1.83	0.5	0.91	0.15
² Estuário Rio São Francisco (SE/AL)	<i>Manguezal (sedimentos)</i>	0.9	20.9	-25.2	0.40	0.05	0.80	0.20
³ Sistema Estuarino-Lagunar Itapocu (SC)	<i>Carcinocultura (norte da laguna)</i>	4.9	22.9	-26.0				
⁴ Baía de Guanabara (RJ)	<i>Alta urbanização</i>	2.9	13.8	-22.7				
⁵ Lagoa do Caçó (MA)	<i>Margem</i>	8.0	18.0	-28.0	3.80	0.30	0.90	0.80
⁶ Lagunas costeiras flumíneses - dominadas por fitoplâncton	<i>Lagoa de Maricá</i>	4.0	8.4	-22.1				
	<i>Lagoa da Barra</i>	3.5	10.0	-20.9				
	<i>Lagoa de Guarapina</i>	6.0	9.0	-19.5				
⁷ Margem de Cyprus - Mar Mediterrâneo	<i>Sem aporte fluvial (fração fina)</i>	1.0	33.3		0.02	0.03	0.44	0.33
⁸ Golfo de Cádiz - Espanha	<i>Rios</i>	1.3	11.2	-24.8	2.66	0.24	1.02	0.84
	<i>Estuário</i>	0.9	9.3	-24.3	1.57	0.22	1.00	0.41
⁹ Sistema lagunar Mundaú-Manguaba (AL) (Este estudo)	<i>Rio Mundaú</i>	2.2	17.5	-22.8	0.52	0.26	1.01	0.47
	<i>Lagoa Mundaú</i>	2.3	10.7	-21.0	0.20	0.62	1.65	1.04
	<i>Lagoa Manguaba</i>	2.9	10.7	-22.0	0.23	0.41	1.32	0.61

¹Brandini (2009); ²Santos (2007); ³Frietzen (2007); ⁴Carreira *et al.* (2002); ⁵Zocatelli (2005); ⁶Knoppers *et al.* (1999); ⁷Bianchi *et al.* (1999); ⁸Sánchez-García *et al.* (2009); ⁹Este estudo.

6.2 DEGRADAÇÃO DAS LIGNINAS

Apesar de os sedimentos de lagunas costeiras preservarem informações sobre alterações nas fontes de matéria orgânica ao longo do tempo para determinado ecossistema, essa matéria orgânica está sujeita à decomposição. Este processo pode alterar progressivamente a composição de diferentes frações da MO, já que cada substância é degradada a uma velocidade distinta. Isso implica em uma matéria orgânica sedimentar com distribuição de compostos que podem ser diferentes da matéria biogênica original (LEHMANN *et al.* 2002).

Particularmente, as ligninas são consideradas compostos refratários, relativamente resistentes à transformação química pela degradação. No entanto, estudos recentes têm demonstrado que sua estabilidade não é tão duradoura, principalmente em solos, que são ambientes altamente oxidantes (OREM *et al.*, 1997). Segundo Bahri *et al.* (2008), o tempo de residência de ligninas em solos pode variar de 7 a 38 anos, sendo que em ambientes influenciados pela agricultura, este tempo pode ser reduzido para menos de 1 ano.

Neste trabalho o parâmetro utilizado para investigar processos diagenéticos sobre a matéria orgânica sedimentar foi a razão (Ad/Al)_v dos fenóis da lignina, ou seja, a razão entre as formas ácida e aldeídica do grupo fenólico vanilil, a qual vem sendo utilizada em uma grande variedade de estudos geoquímicos (GOÑI *et al.*, 1998; HEDGES e KEIL, 1999; HU *et al.*, 1999; LOUCHOUARN *et al.*, 1999; MILTNER *et al.*, 2005). Esta ferramenta é utilizada para indicar o estado de degradação das ligninas presentes, já que há um aumento da concentração da forma ácida em detrimento da forma aldeídica conforme a lignina vai sendo degradada por microorganismos, principalmente fungos (LOUCHOUARN *et al.*, 1997). De acordo com Opsahl e Benner (1995), a razão (Ad/Al)_v de tecidos lenhosos frescos varia entre 0,1 e 0,2, e a de tecidos foliares varia de 0,1 a 0,5. No geral, consideram-se valores acima de 0,4 como indicativos de biodegradação (HEDGES e PRAHL, 1993).

As razões (Ad/Al)_v variaram de 0,2 a 0,6 no Rio Mundaú, e de 0,4 a 2,0 nas lagunas, indicando uma alteração diagenética do material terrestre depositado no CELMM. A Lagoa Mundaú apresentou maiores valores de (Ad/Al)_v em relação ao Rio Mundaú, podendo indicar que a matéria orgânica terrestre introduzida pelo rio está sujeita à maior degradação no local de deposição. Além disso, sedimentos com altos teores de finos, como os das lagunas, geralmente estão associados a maiores taxas de degradação, uma vez que possuem maior área superficial em contato com agentes oxidantes, e também estão associados a locais de baixa

hidrodinâmica, que oferecem melhores condições de degradação (BERGAMASCHI *et al.*, 1996).

A Lagoa Mundaú também exibe maiores razões (Ad/Al)_v em comparação com a Lagoa Manguaba, o que pode estar relacionado à influência de efluentes domésticos da cidade de Maceió que possuem elevada carga de nutrientes, sugerindo que nesta laguna o metabolismo é mais alto, e logo a matéria orgânica local é passível de maior taxa de degradação. De fato, comparando-se os teores de biomassa fitoplanctônica nas duas lagunas, Nazário (2008) observou maiores valores na Lagoa Mundaú, o que também pode ser um indicativo de maior metabolismo.

Nos perfis verticais em Manguaba as razões (Ad/Al)_v não apresentam uma tendência clara de distribuição, com perfis relativamente homogêneos. Já na Lagoa Mundaú são observadas maiores oscilações, principalmente no testemunho C07, onde a biodegradação da matéria orgânica pode estar sendo diretamente influenciada pela descarga de esgotos domésticos.

As razões (Ad/Al)_v sempre acima de 0,4 no interior das lagunas, principalmente em Mundaú, podem comprometer as interpretações baseadas na composição de ligninas, uma vez que a biodegradação das mesmas pode reduzir sua concentração total, além de alterar as razões C/V e S/V. Estudos demonstram que os grupos siringil e cinamil, são mais sensíveis a efeitos diagenéticos do que o grupo vanilil (GOÑI *et al.*, 2003; OPSAHL e BENNER, 1995).

Através da figura 19, verifica-se que há uma correlação inversa entre os valores de λ e as razões (Ad/Al)_v, de forma que maiores taxas de degradação são observadas em amostras com menor concentração de ligninas (NAZÁRIO, 2008; SAMPERE, *et al.*, 2008; SANTOS, 2007; ZOCATELLI, 2005), evidenciando neste estudo a redução na concentração total de ligninas devido a efeitos diagenéticos. Ainda, baixas razões C/V podem estar relacionadas a efeitos da biodegradação, uma vez que os fenóis do grupo cinamil parecem ser os mais lábeis (BENNER *et al.*, 1991; BIANCHI *et al.*, 2009; LALLIER-VERGÈS *et al.*, 2008).

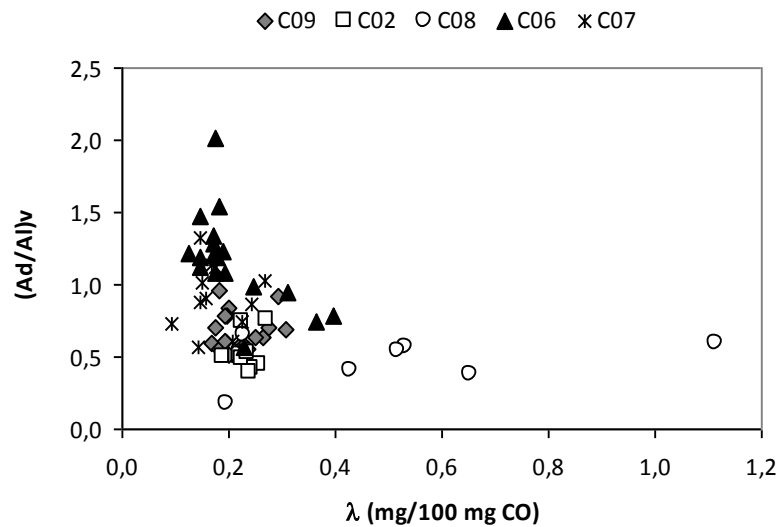


Figura 19. Relação entre ligninas totais (λ) e razão (Ad/Al)v nos sedimentos dos CELMM.

Fonte: este estudo.

6.3 LPVI (“LIGNIN-PHENOL VEGETATION INDEX”)

Um índice recentemente utilizado (BIANCHI *et al.*, 2009; CASTAÑEDA *et al.*, 2009; SÁNCHEZ-GARCÍA *et al.*, 2009; TAREQ *et al.*, 2006) para identificar mudanças de tipos vegetais através da utilização dos grupos fenólicos da lignina foi proposto por Tareq *et al.* (2004), tentando compensar as alterações sofridas durante o transporte e após a sedimentação da matéria orgânica de origem terrestre. Denominado LPVI (*lignin phenol vegetation index*), este índice baseia-se na seguinte equação:

$$\text{LPVI} = [\text{S}(\text{S}+1) / (\text{V}+1) + 1] \times [\text{C}(\text{C}+1) / (\text{V}+1) + 1]$$

Onde:

S: grupo fenólico siringil;

V: grupo fenólico vanilil;

C: grupo fenólico cinamil.

De acordo com os autores, este índice é mais sensível para identificar diferentes fontes vegetais para a matéria orgânica sedimentar, uma vez que ele se baseia na seqüência

diagenética de labilidade dos grupos fenólicos: C>S>V. Além disso, seria mais adequado a ecossistemas tropicais, que possuem grande diversidade de espécies vegetais e também um alto metabolismo, de forma que a MO é transformada rapidamente. Neste estudo, os valores de LPVI variaram de 67 a 2114, restringindo-se às angiospermas (Tabela 10).

Tabela 10. Faixa de variação para os valores de LPVI de acordo com o tipo vegetal

Tipo de vegetação	LPVI
Gimnospermas lenhosas	1
Gimnospermas não lenhosas	12 a 27
Angiospermas lenhosas	67 a 415
Angiospermas não lenhosas	378 a 2782

Fonte: Adaptado de Tareq *et al.*, 2004.

O perfil vertical de LPVI para os testemunhos amostrados no CELMM é apresentado na figura 20, com a devida representação das faixas de identificação de angiospermas lenhosas e não lenhosas. Pelo gráfico confirma-se a contribuição de angiospermas lenhosas para os sedimentos do Rio Mundaú, como observado anteriormente pelas razões C/V e S/V, podendo este material ser proveniente da vegetação ribeirinha do rio. Porém verifica-se na Lagoa Mundaú a predominância de angiospermas não lenhosas praticamente em todo o perfil, demonstrando a diferença composicional entre este local de maior deposição, com menor hidrodinâmica e sedimentos finos, e a desembocadura do rio, que teoricamente constitui o principal aporte de material terrestre para a laguna. Além da influência dos processos de degradação e diluição, essa diferença pode indicar que grande parte da carga de material alóctone para a laguna é proveniente do escoamento superficial difuso.

Na Lagoa Manguaba a composição é um pouco diferente, com presença de angiospermas lenhosas na profundidade e tendência de maior contribuição de angiospermas não lenhosas em direção à superfície. Através do testemunho C09, de maior comprimento, tem-se melhor clareza a cerca da evolução das fontes de material terrestre para o sistema. O período a partir do qual se verifica a presença de angiospermas não lenhosas pode estar relacionado a um período de crescimento do setor sucroalcooleiro, com grande expansão das áreas de plantação de cana de açúcar, contribuindo para o aporte significativo de material não lenhoso para o sistema. Já o período anterior, caracterizado pelas amostras de maior

profundidade, estaria refletindo a composição da vegetação original ao redor do CELMM, anteriormente à expansão das atividades canavieiras.

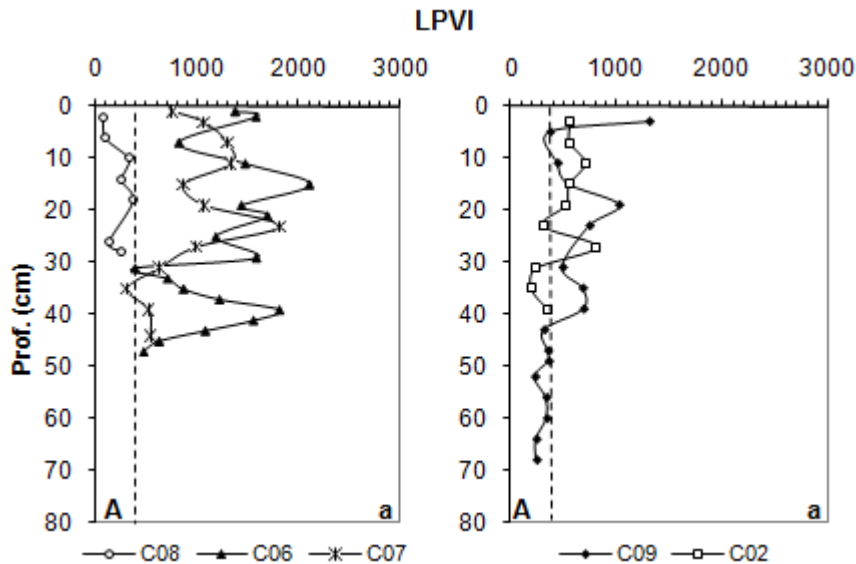


Figura 20. Perfil vertical de LPVI para os testemunhos C08 no Rio Mundaú, C06 e C07 na Lagoa Mundaú, e C02 e C09 na Lagoa Manguaba. Angiospermas lenhosas (A); angiospermas não lenhosas (a).

Fonte: este estudo.

6.4 SEDIMENTAÇÃO E ACUMULAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA

Lagunas costeiras podem acumular grande quantidade de matéria orgânica como resultado da alta produtividade primária observada, além de baixas profundidades e do contato restrito com o mar. O conteúdo da matéria orgânica sedimentar fornece informações históricas sobre mudanças ambientais que ocorrem na bacia de drenagem, inclusive de ações antropogênicas, como desmatamentos, crescimento urbano, expansão agrícola, entre outras. Essas transformações irão se refletir nas taxas de sedimentação de matéria biogênica local (MEYERS e LALLIER-VERGÈS, 1999; SANTOS *et al.*, 2008).

As taxas de sedimentação nos testemunhos do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba puderam ser estimadas para alguns intervalos deposicionais, apesar da ausência de perfis de decaimento bem definidos dos radioisótopos. As perturbações nos perfis podem estar relacionadas a processos de mistura dos sedimentos promovida por organismos

(bioturbação) ou agentes físicos. Principalmente em ambientes costeiros, que possuem baixa profundidade média, os sedimentos estão mais sujeitos a ação de ventos e correntes de maré (RAVICHANDRAN *et al.*, 1995). No caso do CELMM verifica-se ainda a atividade de pesca do sururu (*Mytella falcata*), principal recurso pesqueiro da região (TEIXEIRA e SÁ, 1998). Para a captura deste molusco os pescadores praticam o revolvimento dos sedimentos, contribuindo ainda mais para o efeito de mistura, principalmente nas camadas superficiais.

A tabela 11 apresenta as taxas de sedimentação, acumulação de carbono orgânico e ligninas para os testemunhos C02 na Lagoa Manguaba, e C06 e C07 na Lagoa Mundaú. No geral, as taxas de sedimentação e acumulação de CO encontradas neste estudo estão de acordo com as observadas em outras lagunas costeiras brasileiras (Tabela 12).

As medidas de acumulação de CO, que podem refletir diretamente a produção primária local, indicam mudanças ambientais que provocaram um aumento de produtividade nas lagunas nas camadas mais recentes (aproximadamente acima de 25 cm). Nos testemunhos C02 e C07 esse aumento pode ser resultado do crescimento do setor sucroalcooleiro na região a partir dos anos 70/80, bem como do crescimento urbano das cidades no entorno das lagunas registrado na últimas décadas, principalmente Maceió no caso da Lagoa Mundaú (ANA, 2006).

Tabela 11. Taxas de sedimentação, teor de carbono orgânico (CO), acumulação de carbono orgânico e ligninas para os respectivos intervalos nos perfis sedimentares do CELMM.

Testemunho (Prof.)	Intervalo	Sedimentação (cm/ano)	Acumulação de CO (gC/m ² /ano)	Acumulação de ligninas (g/m ² /ano)
C02 0 a 40 cm	6-20 cm	0.54	51.7	0.12
	20-26 cm	0.70	64.4	0.16
	30-36 cm	0.39	34.3	0.07
C06 0 a 48 cm	36-48 cm	0.27	15.9	0.03
C07 0 a 46 cm	6-22 cm	1.22	91.4	0.16
	22-28 cm	0.26	18.6	0.05

Fonte: este estudo.

O aumento da taxa de urbanização está relacionado a desmatamentos e ocupações irregulares na beira das lagunas, além do aumento do volume de efluentes domésticos, que contribuem para o aumento da carga de matéria orgânica para as mesmas. Já a expansão da atividade canavieira também contribuiu para o aumento de áreas desmatadas, acompanhadas

de erosão dos solos e de resíduos com alto teor de MO gerados pelas agroindústrias. No testemunho C06 não é possível inferir sobre mudanças no aporte de MO devido à ausência de taxas de sedimentação nas camadas mais recentes. No entanto, é provável que tenha ocorrido o mesmo processo observado no C02 e no C07.

Apesar dos relatos de aumento do aporte de material terrestre devido à expansão da atividade canavieira, a acumulação de ligninas nas lagunas apresenta valores relativamente baixos comparados com o total de acumulação de CO, representando entre 0.16 e 0.26% desse total. Em áreas onde a acumulação de CO é comparável aos valores encontrados em Mundaú-Manguaba, como a região mais interna do Golfo do México, observam-se valores de acumulação de ligninas maiores em 1 ordem de grandeza (Tabela 12). Os baixos valores encontrados neste estudo podem estar relacionados a efeitos diagenéticos, como discutido anteriormente, bem como a processos de diluição com águas costeiras com pouca ou nenhuma concentração de ligninas, corroborando com as assinaturas da razão C/N, $\delta^{13}\text{C}$ e a própria composição de ligninas.

Dessa forma, a maior parte da matéria orgânica alóctone que chega às lagunas parece ser rapidamente degradada por microorganismos, servindo como fonte de nutrientes para o desenvolvimento de algas fitoplanctônicas, que se desenvolvem rapidamente e contribuem para grande parte da MO rica em nitrogênio que irá se depositar nos sedimentos. Assim, o material vegetal introduzido pelos rios e pelo escoamento superficial difuso é misturado com grande quantidade de MO oriunda da produção primária fitoplanctônica. A inclusão das ligninas neste substrato orgânico oriundo da produção autóctone deve promover a sua degradação microbiana e por outros organismos pastadores, como os moluscos que são abundantes nesses sedimentos.

Tabela 12. Taxas de sedimentação, teor de carbono orgânico (CO), acumulação de carbono orgânico e ligninas em diferentes ambientes deposicionais.

Local	Observação	Sedimentação (cm/ano)	CO (%)	Acumulação de CO (gC/m ² /ano)	Acumulação de ligninas (g/m ² /ano)
¹ Lago Biwa	<i>Impactos antrópicos/eutrófico</i>		1.3 - 5.1		0.15 - 0.20
² Baía de Hudson	<i>Grande aporte fluvial</i>	0.11	0.9		0.002
³ Lago Baikal	<i>Oligotrófico</i>	0.06	1.3	0.79	
⁴ Lagoa de Patos (RS)	<i>Laguna costeira - clima subtropical</i>	3.5 - 8.3			
⁵ Estuário Rio São Francisco (SE/AL)	<i>6 barragens ao longo do curso do rio</i>	0.11 - 0.79	0.02 - 6.7		0.03
⁶ Lagoa de Guarapina (RJ)	<i>Laguna costeira tropical - ausência de impactos</i>	0.29	6	58	
⁷ Lagoa de Piratininga (RJ)	<i>Laguna costeira tropical - hipereutrófica</i>	0.76	6.3	245	
⁸ Baía de Guaratuba (PR)	<i>Estuário tropical</i>	0.44 - 0.91	2.8	20 - 80	0.35 - 2.14
⁹ Sistema fluvial Mississippi/Atchafalaya (foz)	<i>Plataforma interna</i>	0.37 - 0.45	1.01 - 1.37	44 - 54	0.83 - 1.07
	<i>Plataforma externa</i>	0.04 - 0.28	0.29 - 1.08	2.4 - 19	0.03 - 0.4
	<i>Talude</i>	0.008 - 0.21	1.07 - 1.59	0.9 - 29	0.003 - 0.15
¹⁰ Sistema lagunar Mundaú-Manguaba (AL)	<i>Lagoa Mundaú</i>	0.58	2.3	55	0.08
	<i>Lagoa Manguaba</i>	0.54	2.9	50.1	0.12

¹Hyodo *et al.* (2008); ²Kuzyk *et al.* (2008); ³Orem *et al.* (1997); ⁴Toldo *et al.* (2000); ⁵Santos (2007); ^{6,7}Knoppers *et al.* (1999); ⁸Brandini (2009); ⁹Gordon e Goñi (2004); ¹⁰Este estudo.

7 CONCLUSÕES

- A análise granulométrica dos testemunhos do CELMM, juntamente com os parâmetros geoquímicos, permitiram diferenciar em termos qualitativos e quantitativos os sedimentos das lagunas Mundaú e Manguaba daqueles do Rio Mundaú. Nas lagunas, a presença de 100 % de finos demonstra a menor hidrodinâmica local e a predominância de material fitoplanctônico, com razões C/N mais baixas. Já no rio os sedimentos são mais arenosos, estando associados com a presença de fragmentos de plantas que habitam as suas margens, como visto pelas razões C/N mais altas.

- A razão C/N nos sedimentos apresentou correlação significativa positiva com a profundidade dos testemunhos, com tendência de maiores valores de C/N e valores mais leves de $\delta^{13}\text{C}$ em direção à base dos testemunhos, indicando perda de nitrogênio por transformação diagenética ou mesmo alteração de fontes de MO ao longo do tempo para as lagunas. A aplicação do modelo de mistura de duas fontes para o $\delta^{13}\text{C}$, permitiu corroborar essa mudança na composição da MO das lagunas Mundaú e Manguaba. Nos sedimentos mais recentes verificou-se maior contribuição de material autóctone proveniente de produção primária fitoplanctônica, com progressiva diminuição dessa contribuição nas camadas mais profundas.

- Apesar da predominância de material autóctone nas lagunas, a presença de ligninas em seus sedimentos, mesmo que em baixas concentrações, indica que também existe contribuição de material alóctone de plantas vasculares, o qual pode estar sofrendo diluição e degradação ao longo do transporte e deposição. A razão entre os grupos fenólicos (S/V e C/V) indicaram a presença de grande mistura de material proveniente de angiospermas lenhosas e não lenhosas ao longo dos perfis, com a predominância de material lenhoso ao longo de todo o

perfil no Rio Mundaú, e na base dos testemunhos lagunares, provavelmente relacionado com a vegetação original da bacia de drenagem antes da expansão canavieira.

- Maiores taxas de degradação de ligninas, dadas pelas razões $(Ad/Al)_v$, ocorreram em amostras com menores concentrações totais de ligninas, evidenciando o efeito diagenético de redução na concentração total de ligninas devido à biodegradação. Devido aos altos valores de $(Ad/Al)_v$ encontrados, a maior parte do aporte de matéria orgânica alóctone que chega às lagunas parece ser rapidamente degradado por microorganismos, servindo como fonte de nutrientes para o desenvolvimento de algas fitoplanctônicas que contribuem para a maior parte da MO nos sedimentos lagunares.

A aplicação do índice LPVI permitiu obter maior clareza na interpretação dos fenóis da lignina. Através do testemunho C09, de maior comprimento, observou-se uma evolução de fontes terrestres de MO para o CELMM ao longo do tempo, ocorrendo uma transição de angiospermas lenhosas na base do perfil sedimentar, relacionadas com a vegetação original da bacia de drenagem, para não lenhosas em direção ao topo, provavelmente relacionadas com a grande expansão das áreas de plantação de cana de açúcar nas últimas décadas

- Através das estimativas de acumulação de carbono e ligninas neste estudo, verificou-se um aumento de produtividade nas lagunas nas camadas sedimentares superficiais, o que pode estar relacionado com a expansão da atividade canavieira e com o aumento da taxa de urbanização no entorno das lagunas, contribuindo para o aumento da quantidade de áreas desmatadas, erosão dos solos e efluentes com alto teor de MO, como os resíduos do processamento da cana e os esgotos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Agência Nacional das Águas. **Plano de Ações e Gestão Integrada do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú/Manguaba - CELMM**: Resumo Executivo. Brasília, DF. 2006, 124p.

ANDREWS, J. E.; GREENAWAY, A. M.; DENNIS, P. F. Combined carbon isotope and C/N ratios as indicators of source and fate of organic matter in a poorly flushed, tropical estuary: Hunts Bay, Kingston Harbour, Jamaica. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.46, p.743-756, 1998.

APPLEBY, P. G.; NOLAN, P. J.; OLDFIELD, F.; RICHARSON, N.; HIGGITT, S. R. Pb-210 dating of lake sediments and ombotrophic peats by gamma assay. **The Science of Total Environment**, v.69, p.157-177, 1988.

APPLEBY, P. G.; OLDFIELD, F. Application of lead-210 to sedimentation studies. In: Ivanovich; Harmon (Eds.); **Uranium series disequilibrium**: Application to earth, marine and environmental science. London: Oxford Science Publications, 1992. p.731-783.

BAHRI, H.; RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M.-F.; BARDOUX, G.; MARIOTTI, A. Lignin degradation during a laboratory incubation followed by ¹³C isotope analysis. **Soil Biology & Biochemistry**, v.40, p. 1916-1922, 2008.

BALZER, W.; POLLEHNE, F.; ERLLENKEUSER, H. Cycling of organic carbon in a coastal marine system. In: SLY, PG. **Sediment and Water Interaction**, Berlin: Springer Verlag, p. 325-330, 1986.

BENNER R.; FOGEL, M. L.; SPRAGUE, E. K. Diagenesis of belowground biomass of *Spartina alterniflora* in salt-marsh sediments. **Limnology and Oceanography**, v.36, p.1358-1374, 1991.

BERGAMASCHI, B. A.; TSAMAKIS, E.; KEIL, R. G.; EGLINTON, T. I.; MONTLUCON, D. B.; HEDGES, J. I. The effect of grain size and surface area on organic matter, lignin and carbohydrate concentration, and molecular compositions in Peru Margin sediments. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.61, n.6, p.1247-1260, 1997.

BERNARDES, M. C. **Dinâmica do carbono orgânico dissolvido e o uso de biomarcadores na bacia hidrográfica do rio Piracicaba - SP**. Piracicaba, 2000. Tese (Doutorado em Ciências). Departamento de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

BIANCHI, T. S.; ARGYROU, M.; CHIPPETT, H. F. Contribution of vascular-plant carbon to surface sediments across the coastal margin of Cyprus (eastern Mediterranean). **Organic Geochemistry**, v.30, n.5, p.287-297, 1999.

BIANCHI, T. S.; DIMARCO, S. F.; SMITH, R. W.; SCHREINER, K. M. A gradient of dissolved organic carbon and lignin from Terrebonne-Timbalier Bay estuary to the Louisiana shelf (USA). **Marine Chemistry**, v.117, p.32-41, 2009.

BIANCHI, T. S.; LAMBERT, C. D.; SANTOSCHI, P. H.; GUO, L. Sources and transport of land-derived particulate and dissolved organic matter in the Gulf of Mexico (Texas shelf/slope): The use of lignin-phenols and loliolide as biomarkers. **Organic Geochemistry**, v.27, n.1/2, p.65-78, 1997.

BRANDINI, N. **Biogeoquímica da Baía de Guaratuba, Paraná, Brasil: Origem, metabolismo, balanço de massa e destino da matéria biogênica**. Niterói, 2008. 277 f. - (Tese de Doutorado em Geociências), Departamento de Geoquímica. Universidade Federal Fluminense.

BRASSELL, S. C.; EGLINTON, G. The potential of organic geochemical compounds as sedimentary indicators of upwelling. In: SUESS, E.; THIEDE, J. (Eds.). **Coastal Upwelling, Its Sedimentary Record**. New York: Plenum Press, 1983, p. 545-571.

CARREIRA, R. S.; WAGENER, A. L. R.; READMAN, J. W.; FILEMAN, T. W.; MACKO, S. A.; VEIGA, A. Changes in the sedimentary organic carbon pool of a fertilized tropical estuary, Guanabara Bay, Brazil: an elemental, isotopic and molecular marker approach. **Marine Chemistry**, v.79, p.207-227, 2002.

CASTAÑEDA, I. S.; WERNE, J. P.; JOHNSON, T. C.; FILLEY, T. R. Late Quaternary vegetation history of southeast Africa: The molecular isotopic record from Lake Malawi. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.275, p.100-112, 2009.

CHEESMAN, O. D. **Environmental Impacts of Sugar Production**. Londres: Cabi, 2004. 253 p.

CUTSHALL, N. H.; LARSEN, I. L.; OLSEN, C.R. Direct analysis of ^{210}Pb in sediment sample: self-absorption corrections. **Nuclear Instruments and Methods**, v.206, p.309-312, 1982.

DITTMAR, T.; LARA, R. J. Molecular evidence for lignin degradation in sulfate-reducing mangrove sediments (Amazonia, Brazil). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.65, n.9, p.1417-1428, 2001.

ERTEL, J. R.; HEDGES, J. I. Sources of sedimentary humic substances: vascular plant debris. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.49, p.2097-2107, 1985.

FARELLA, N.; LUCOTTE, M.; LOUCHOUARN, P.; ROULET, M. Deforestation modifying terrestrial organic transport in the Rio Tapajós, Brazilian Amazon. **Organic Geochemistry**, v.32, p.1443-1458, 2001.

FRITZEN, L. B. **Composição, origem e grau de enriquecimento do material orgânico sedimentar no setor norte do sistema estuarino-lagunar do Rio Itapocu, SC.** Florianópolis, 2007, 114 . Dissertação (Pós-Graduação em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina.

GOÑI, M. A.; HEDGES, J. I. Cutin-derived CuO reaction products from purified cuticles and tree leaves. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.54, p.3065-3072, 1990a.

GOÑI, M. A.; HEDGES, J. I. Potential applications of cutin-derived CuO reaction products for discriminating vascular plant sources in natural environments. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.54, p.3073-3081, 1990b.

GOÑI, M. A.; RUTTENBERG, K. C.; EGLINTON, T. I. A reassessment of the sources and importance of land-derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 62, n.18, p.3055–3075, 1998.

GOÑI, M. A.; TEIXEIRA, M. J.; PERKEY, D. W. Sources and distribution of organic matter in a river-dominated estuary (Winyah Bay, SC, USA). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.57, p.1023-1048, 2003.

GOÑI, M. A.; YUNKER, M. B.; MACDONALD, R. W.; EGLINTON, T. I. Distribution and sources of organic biomarkers in arctic sediments from the Mackenzie River and Beaufort Shelf. **Marine Chemistry**, v.71, p.23-51, 2000.

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

GORDON, E. S.; GOÑI, M. A. Sources and distribution of terrigenous organic matter delivered by the Atchafalaya River to sediments in the northern Gulf of Mexico. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.67, n.13, p.2359-2375, 2003.

GORDON, E. S.; GOÑI, M. A. Controls on the distribution and accumulation of terrigenous organic matter in sediments from the Mississippi and Atchafalaya river margin. **Marine Chemistry**, v.92, n.1/4, p.331-352, 2004.

GUNKEL, G.; KOSMOL, J.; SOBRAL, M.; ROHN, H.; MONTENEGRO, S.; AURELIANO, J. Sugar cane industry as a source of water pollution - case study on the situation in Ipojuca River, Pernambuco, Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, v.180, p.261-269, 2007.

HAYES, J. M. Factors controlling ^{13}C contents of sedimentary organic compounds: Principles and evidence. **Marine Geology**, v.113, p.111-125, 1993.

HEDGES, J. I.; CLARK, W. A.; COWIE, G. L. Organic matter sources to the water column and surficial sediments of a marine bay. **Limnology and Oceanography**, v.33, p.1116-1136, 1988.

HEDGES, J. I.; CLARK, W. A.; QUAY, P. D.; RICHEY, J. E.; DEVOL, A. H.; SANTOS, U. M. Composition and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. **Limnology and Oceanography**, v.33, p.717-738, 1986.

HEDGES, J. I.; ERTEL, J. R. Characterization of lignin by capillary gas chromatography of cupric oxide oxidation products. **Analytical Chemistry**, v.54, p.174-178, 1982.

HEDGES, J. I.; KEIL, R. G. Organic geochemical perspectives on estuarine processes: sorption reactions and consequences. **Marine Chemistry**, v.65, p.55-65, 1999.

HEDGES, J. I.; KEIL, R. G.; BENNER, R. What happens to terrestrial organic matter in the ocean?. **Organic Geochemistry**, v.27, n.5/6, p.195-212, 1997.

HEDGES, J. I.; MANN, D. C. The lignin geochemistry of marine sediments from the southern Washington coast. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.43, p.1809-1818, 1979.

HEDGES, J. I.; OADES, J. M. Comparative organic geochemistries of soils and marine sediments. **Organic Geochemistry**, v.27, n.7/8, p.319-361, 1997.

HEDGES, J. I.; PRAHL, F.G. Early diagenesis: consequences for applications of molecular biomarkers. In: ENGEL, M.; MACKRO, S.S. (Eds). **Organic geochemistry: principles and applications**. New York: Plenum Press, 1993. p. 237-253.

HU, F. S.; HEDGES, J.; GORDON, E. S.; BRUBAKER, L.B. Lignin biomarkers and pollen in postglacial sediments of an Alaskan lake. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.63, n.9, p.1421-1430, 1999.

HYODO, F.; TSUGEKI, N.; AZUMA, J.; URABE, J.; NAKANISHI, M.; WADA, E. Changes in stable isotopes, lignin-derived phenols, and fossil pigments in sediments of Lake Biwa, Japan: Implications for anthropogenic effects over the last 100 years. **Science of the Total Environment**, v.403, p.139-147, 2008.

JENNERJAHN, T. C.; ITTEKKOT, V. Relevance of mangroves for the production and deposition of organic matter along tropical continental margins. **Naturwissenschaften** v.89, p.23-30, 2002.

KEIL, R. G.; TSAMAKIS, E.; GIDDINGS, J. K.; HEDGES, J. I. Biochemical distributions (amino acids, neutral sugars and lignin phenols) among size-classes of modern marine sediments from the Washington coast. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.62, n.8, p.1347-1364, 1998.

KILLOPS, S.; KILLOPS, V. **Introduction to organic geochemistry**. Malden, MA: Blackwell. pp.393. 2005

KJERFVE, B. **Coastal Lagoon Processes**. Columbia: Elsevier, 1994

KNOPPERS, B. Aquatic Primary Production in Coastal Lagoons. In: KJERVE, B. (Ed.). **Coastal Lagoon Processes**. Columbia: Elsevier, 1994. 577 p.

KNOPPERS, B.; CARMOUZE, J. P.; MOREIRA-TURCQ, P. F. Nutrient dynamics, metabolism and eutrophication of lagoons along the East Fluminense Coast, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: KNOPPERS, B., et al (Ed.). **Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems of Rio de Janeiro, Brazil**. Niterói: FINEP, 1999. 210 p.

KUZIK, Z. Z. A.; GOÑI, M. A.; STERN, G. A.; MACDONALD, R. W.; Sources, pathways and sinks of particulate organic matter in Hudson Bay: Evidence from lignin distributions. **Marine Chemistry**, v.112, p.215-229, 2008.

LALLIER-VERGÈS, E.; MARCHAND, C.; DISNAR, J.-R.; LOTTIER, N. Origin and diagenesis of lignin and carbohydrates in mangrove sediments of Guadeloupe (French West Indies): Evidence for a two-step evolution of organic deposits. **Chemical Geology**, v.255, p.388-398, 2008.

LAMB, A. L.; WILSON, G. P.; LENG, M. J. A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios in organic material. **Earth-Science Reviews**, v.75, p.29-57, 2006.

LEHMANN, M. F.; BERNASCONI, S. M.; BARBIERI, A.; MCKENZIE, J. A. Preservation of organic matter and alteration of its carbon and nitrogen isotope composition during simulated and in situ early sedimentary diagenesis. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.66, n.20, p.3573-3584, 2002.

LOUCHOUARN, P.; AMON, R. M. W.; DUAN, S.; PONDELL, C.; SEWARD, S. M.; WHITE, N. Analysis of lignin-derived phenols in standard reference materials and ocean dissolved organic matter by gas chromatography/tandem mass spectrometry. **Marine Chemistry**, v.118, n.1/2, p.85-97, 2010.

LOUCHOUARN, P.; LUCOTTE, M.; CANUEL, R.; GAGNÉ, J.; RICHARD, L. Sources and early diagenesis of lignin and bulk organic matter in the sediments of the Lower St. Lawrence Estuary and the Saguenay Fjord. **Marine Chemistry**, v. 58, p.3-26, 1997.

LOUCHOUARN, P.; LUCOTTE, M.; FARELLA, N. Historical and geographical variations of sources and transport of terrigenous organic matter within a large-scale coastal environment. **Organic Geochemistry**, v.30, p.675-699, 1999.

MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; MOREIRA, M. Z. **Desvendando Questões Ambientais com Isótopos Estáveis**. Oficina de Textos. 144p. 2009.

MCCALL, P. L.; ROBBINS, J. A.; MATISOFF, G. ^{137}Cs and ^{210}Pb transport and geochronologies in urbanized reservoirs with rapidly increasing sedimentation rates. **Chemical Geology**, v.44, p.33-65, 1984.

MEYERS, P. A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. **Organic Geochemistry**, v.34, n.2, p.261-289, 2003.

MEYERS, P. A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic and paleoclimatic processes. **Organic Geochemistry**, v.27, n.5/6, p.213-250, 1997.

MEYERS, P. A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. **Chemical Geology**, v.144, p.289-302, 1994.

MEYERS, P. A.; LALLIER-VERGÈS, E. L. Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates. **Journal of Paleolimnology**, v.21, n.3, p. 45-372, 1999.

MILTNER, A.; EMEIS, K-C. Origin and transport of terrestrial organic matter from the Oder lagoon to the Arkona Basin, Southern Baltic Sea. **Organic Geochemistry**, v.31, p.57-66, 2000.

MILTNER, A.; EMEIS, K.-C.; STRUCK, U.; LEIPE, T.; VOSS, M. Terrigenous organic matter in Holocene sediments from the central Baltic Sea, NW Europe. **Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)**, v.216, p.313-328, 2005.

MÜLLER, G. Methods in Sedimentary Petrology. **Sedimentary Petrology**. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Part 1, 1967. 283p.

MÜLLER, G.; VOSS, M. The palaeoenvironments of coastal lagoons in the southern Baltic Sea, II. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ ratios of organic matter - sources and sediments. **Palaeo**, v.145, p.17-32, 1999.

NAZÁRIO, M. G. **Origem e destino da matéria orgânica do sistema Lagunar Mundaú-Manguaba – Al, Brasil**: sinais da cana de açúcar. Niterói, 2008. 104 f. - (Dissertação de Mestrado em Geociências), Departamento de Geoquímica. Universidade Federal Fluminense.

NIXON, W. N. **Coastal marine eutrophication**: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 1995. p. 199-219.

OLIVEIRA, A. M.; KJERFVE, B. Environmental Responses of a Tropical Coastal Lagoon System to Hydrological Variability: Mundaú-Manguaba, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.37, n.6, p.575-591, 1993.

ONSTAD, G. D.; CANFIELD, D. E.; QUAY, P. D.; HEDGES, J.I. Sources of particulate organic matter in rivers from the continental USA: Lignin phenol and stable carbon isotope compositions. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.64, n.20, p.3539-3546, 2000.

OPSAHL, S.; BENNER, R. Early diagenesis of vascular plant tissues: Lignin and cutin decomposition and biogeochemical implication. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 59, n.23, p.4889-4904, 1995.

OREM, W. H.; COLMAN, S. M.; LERCH, H. E. Lignin phenols in sediments of Lake Baikal, Siberia: application to paleoenvironmental studies. **Organic Geochemistry**, v.27, n.3/4, p.153-172, 1997.

OWEN, R. B.; LEE, R. Human impacts on organic matter sedimentation in a proximal shelf setting, Hong Kong. **Continental Shelf Research**, v.24, p.583-602, 2004.

PATCHINEELAM, S. M.; KJERFVE, B.; GARDNER, L. R. A preliminary sediment budget for the Winyah Bay estuary, South Carolina, USA. **Marine Geology**, v.162, p.133-144, 1999.

PEMPKOWIAK, J.; TYLMANN, W.; STANISZEWSKI, A.; GOLEBIEWSKI, R. Lignin depolymerization products as biomarkers of the organic matter sedimentary record in ^{210}Pb - ^{137}Cs -dated lake sediments. **Organic Geochemistry**, v.37, p.1452-1464, 2006.

PERDUE, E. M.; KOPRIVNJAK, J.-F.; Using C/N ratio to estimate terrigenous inputs of organic matter to aquatic environments. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.73, p.65-72, 2007.

QUEEN, M. A. S. **Dinâmica dos Isótopos do Carbono em Vertissolo da Região Canavieira do Estado da Bahia**. Salvador, 1988. 67 f. - (Dissertação de Mestrado em Ciências em Geofísica), Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa. Universidade Federal da Bahia.

RAVICHANDRAN, M.; BASKARAN, M.; SANTSCHI, P. H.; BIANCHI, T. S. Geochronology of sediments in the Sabine-Neches estuary, Texas, U.S.A. **Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)**, v.125, p.291-306, 1995

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

RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C.; HILLAIRE-MARCEL, C.; GHALEB, B.; SOTO-JIMÉNEZ, M.; PÁEZ-OSUNA, F. Recent sedimentary history of anthropogenic impacts on the Culiacan River Estuary, northwestern Mexico: geochemical evidence from organic matter and nutrients. **Environmental Pollution**, v.118, p.365-377, 2002.

SAMPERE, T. P.; BIANCHI, T. S.; WAKEHAM, S. G.; ALLISON, M. A. Sources of organic matter in surface sediments of the Louisiana Continental margin: Effects of major depositional/transport pathways and Hurricane Ivan. **Continental Shelf Research**, v.28, p.2472-2487, 2008.

SÁNCHEZ-GARCÍA, L.; ANDRÉS, J. R.; MARTÍN-RUBÍ, J. A.; LOUCHOUARN, P. Diagenetic state and source characterization of marine sediments from the inner continental shelf of the Gulf of Cádiz (SW Spain), constrained by terrigenous biomarkers. **Organic Geochemistry**, v.40, p.184-194, 2009.

SANTOS, E. S. **Aplicação de marcadores geoquímicos para a avaliação dos impactos das barragens nos sedimentos do estuário do Rio São Francisco (Al/Se)**. Niterói, 2007. 151 f. - (Tese de Doutorado em Geociências), Departamento de Geoquímica. Universidade Federal Fluminense.

SANTOS, I. R.; BURNETT, W. C.; GODOY, J. M. Radionuclides as tracers of coastal processes in Brazil: Review, synthesis, and perspectives. **Brazilian Journal of Oceanography**, v.52, n.2, p.115-131, 2008.

SANTOS, A. L. S.; PEREIRA, E. C. G.; ANDRADE, L. H. C. A expansão da cana-de-açúcar no espaço alagoano e suas conseqüências sobre o meio ambiente e a identidade cultural. **Campo-território: revista de geografia agrária**, v.2, n.4, p.19-37, 2007.

SCHMIDT, S.; JOUANNEAU, J.-M.; WEBER, O.; LECROART, P.; RADAKOVITCH, O.; GILBERT, F.; JÉZÉQUEL, D. Sedimentary processes in the Thau Lagoon (France): From

seasonal to century time scales. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.72, p.534-542, 2007.

SILVA, C. S. **Análise da vulnerabilidade ambiental aos principais pesticidas recomendados para os sistemas de produção de algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, citros, milho e soja**. Campinas, 2004. 135 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola), Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1. p.108-114, 2007.

SMOAK, J. M.; PATCHINEELAM, S. R. Sediment mixing and accumulation in a mangrove ecosystem: evidence from ^{210}Pb , ^{234}Th and ^7Be . **Mangrove and Salt Marshes**, v.3, p.17-27, 1999.

TAREQ, S. M.; HANDA, N.; TANOUE, E. A lignin phenol proxy record of mid Holocene paleovegetation changes at Lake DaBuSu, northeast China. **Journal of Geochemical Exploration**, v.88, n.1-3, p.445-449, 2006.

TAREQ, S. M.; TANAKA, N.; OHTA, K. Biomarker signature in tropical wetland: lignin phenol vegetation index (LPVI) and its implications for reconstructing the paleoenvironment. **Science of The Total Environment**, v.324, n.1/3, p.91-103, 2004.

TEIXEIRA, R. L.; SÁ, H. S. Abundância de macrocrustáceos decápodos nas áreas rasas do Complexo Lagunar Mundaú/Manguaba, AL. **Rev. Brasil. Biol.** v.58, n.3, p.393-404, 1998.

TESI, T.; LANGONE, L.; GOÑI, M. A.; TURCHETTO, M.; MISEROCCHI, S.; BOLDRIN, A. Source and composition of organic matter in the Bari canyon (Italy): Dense water cascading versus particulate export from the upper ocean. **Deep-Sea Research I**, v.55, p.813-831, 2008.

TESI, T.; MISEROCCHI, S.; GOÑI, M. A.; LANGONE, L. Source, transport and fate of terrestrial organic carbon on the western Mediterranean Sea, Gulf of Lions, France. **Marine Chemistry**, v.105, n.1-2, p.101-117, 2007a.

TESI, T.; MISEROCCHI, S.; GOÑI, M. A.; LANGONE, L.; BOLDRIN, A.; TURCHETTO, M. Organic matter origin and distribution in suspended particulate materials and surficial sediments from the western Adriatic Sea (Italy). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.73, p.431-446, 2007b.

THORNTON, S.F.; MCMANUS, J. Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as source indicators of organic matter provenance in estuarine systems: evidence from the Tay Estuary, Scotland. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.38, p.219-233, 1994.

TOLDO, E. E.; DILLENBURG, S. R.; CORREA, I. C. S.; ALMEIDA, L. E. S. B. Holocene sedimentation in Lagoa dos Patos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. **J. Coast. Res.**, v.16, n.3, p. 816-822, 2000.

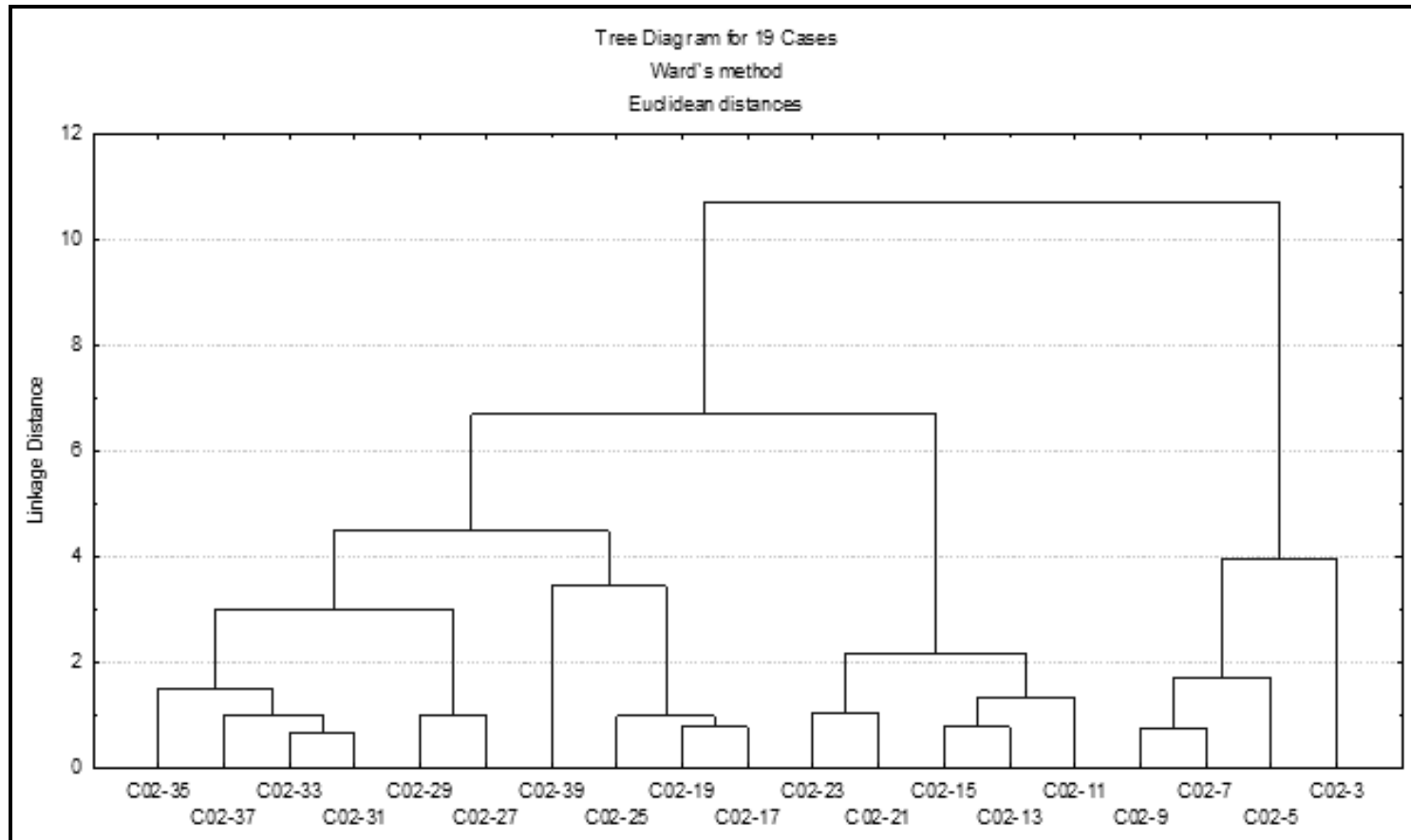
XUEQIANG, L.; EIJI, M. Implications of excess ^{210}Pb and ^{137}Cs in sediment cores from Mikawa Bay, Japan. **Journal of Environmental Sciences**, v.21, p.707-712, 2009.

YÃNEZ-ARANCIBIA, A.; LARA-DOMINGUEZ, A. L.; PAULY, D. Coastal lagoons and fish habitats. In: KJERFVE, B. (Ed.). **Coastal lagoon processes**. Columbia: Elsevier, 1994. p. 363-376.

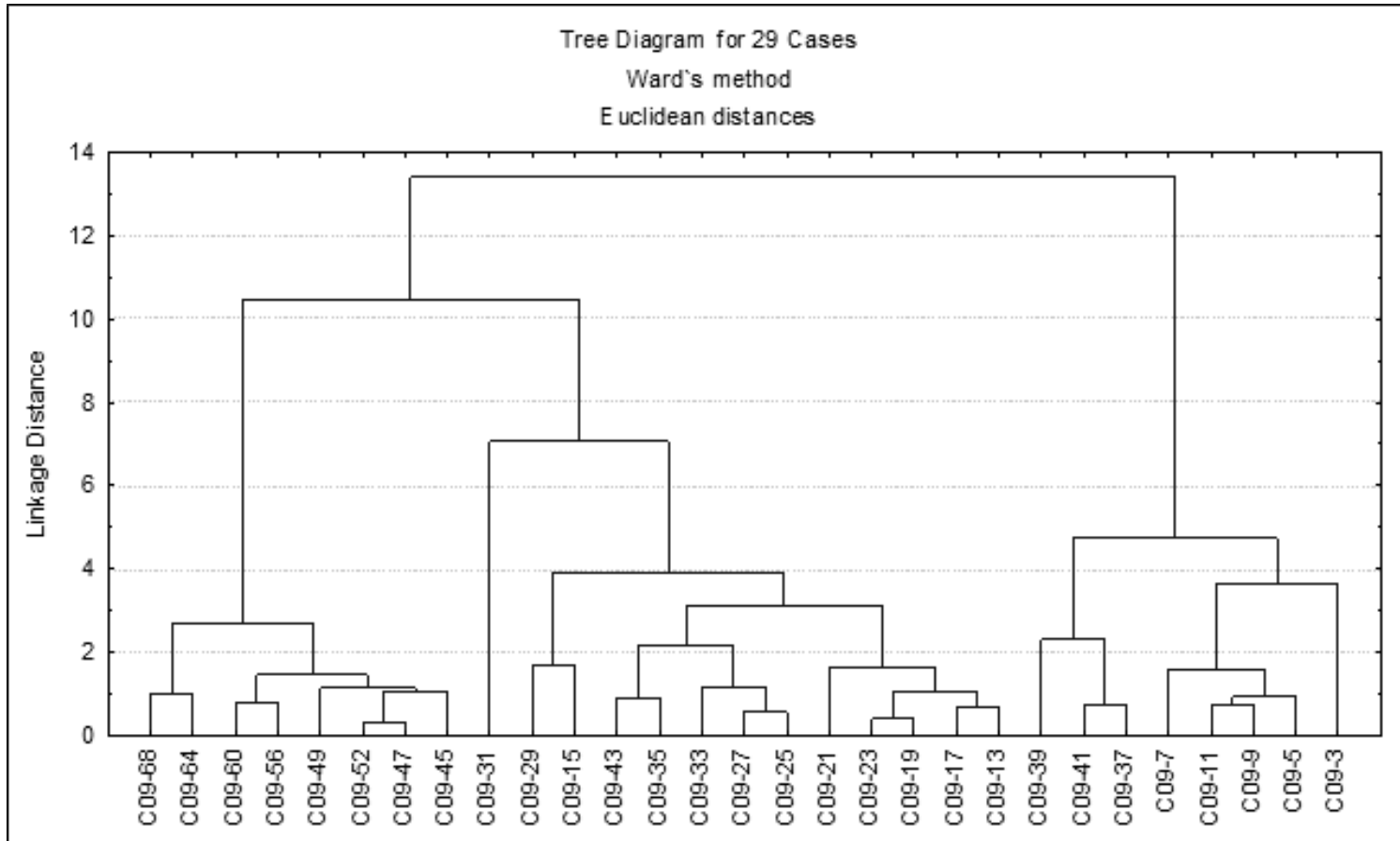
ZIERVOGEL, K.; BOHLING, B. Sedimentological parameters and erosion behaviour of submarine coastal sediments in the south-western Baltic Sea. **Geo-Mar Lett**, v.23, p.43-52, 2003.

ZOCATELLI, R. O. **Composição da matéria orgânica em função de eventos paleoclimáticos na Lagoa do Caço, Maranhão, Brasil**. Niterói, 2005. 106 f. - (Dissertação de Mestrado em Geoquímica Ambiental), Programa de Pós-graduação em Geoquímica. Universidade Federal Fluminense.

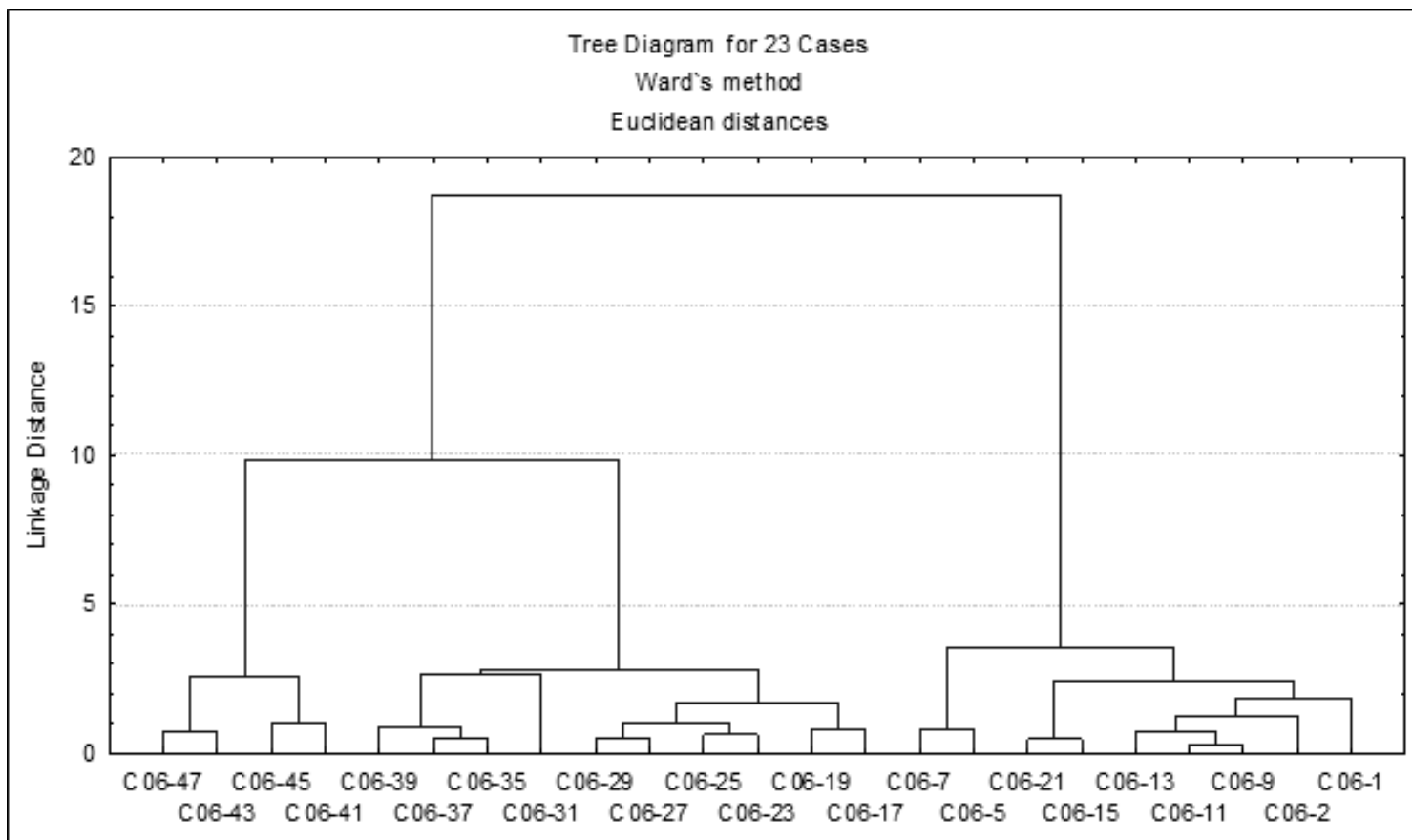
9 ANEXOS



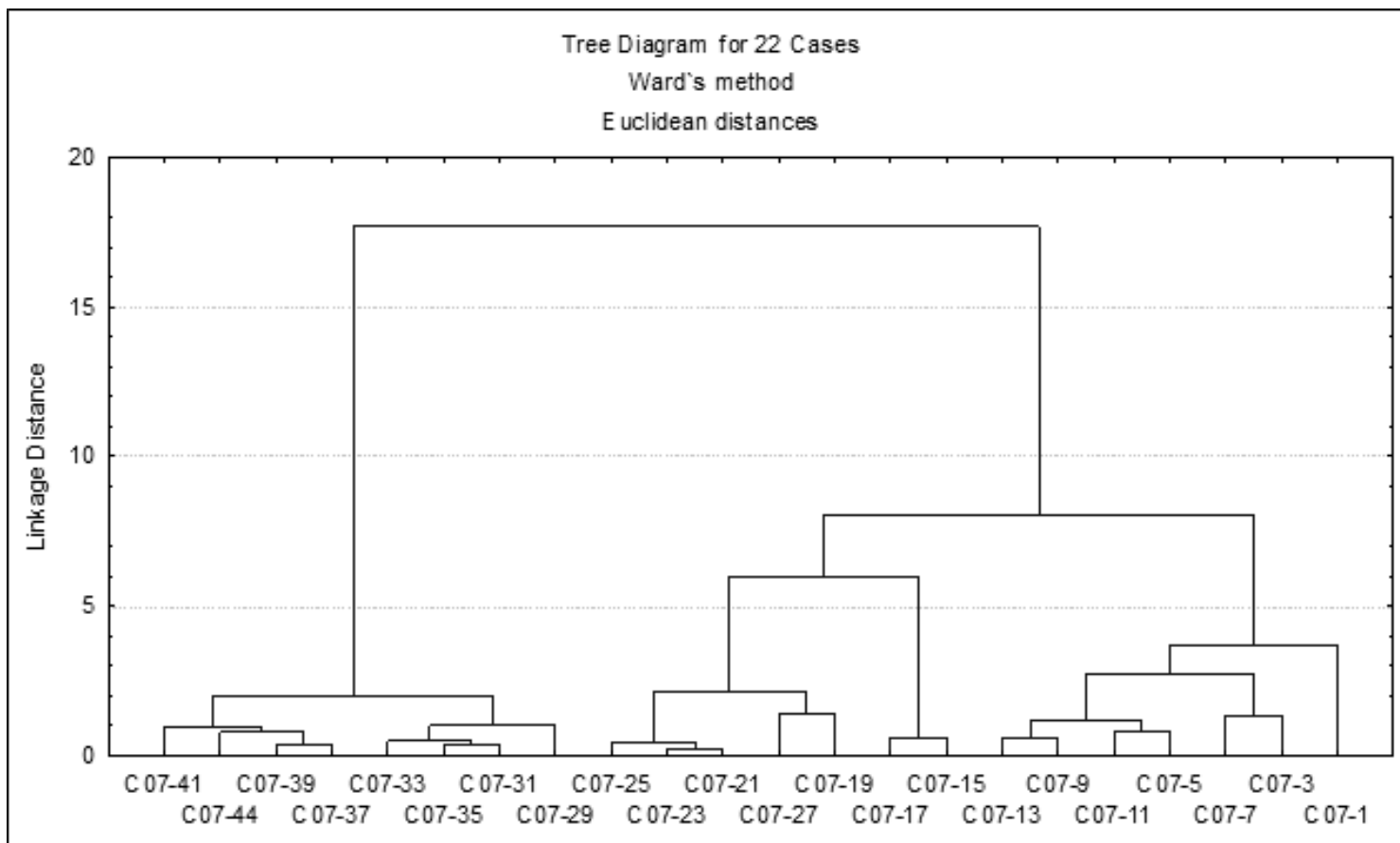
Anexo I. Dendrograma da análise de agrupamento para o testemunho C02 na Lagoa Mundaú.



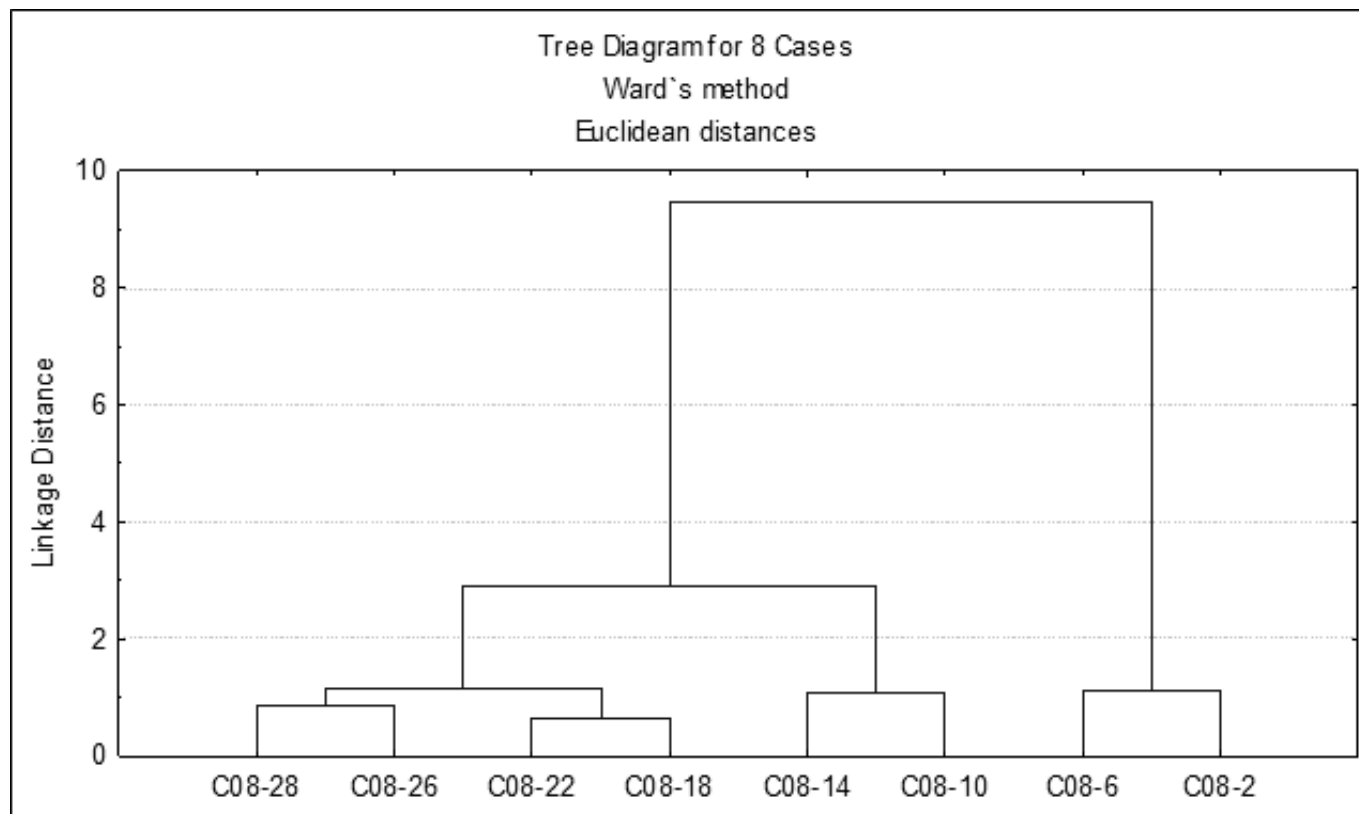
Anexo II. Dendograma da análise de agrupamento para o testemunho C09 na Lagoa Mundaú.



Anexo III. Dendrograma da análise de agrupamento para o testemunho C06 na Lagoa Manguaba.



Anexo IV. Dendrograma da análise de agrupamento para o testemunho C07 na Lagoa Manguaba.



Anexo V. Dendograma da análise de agrupamento para o testemunho C08 no Rio Mundaú.

	Prof.	Argila	Silte	CO	C/N	$\delta^{13}\text{C}$	S8	λ	V	S	C	C/V	S/V	(Ad/Al)v
Prof.	1.000													
Argila	0.041	1.000												
Silte	-0.041	-1.000	1.000											
CO	-0.337	0.173	-0.173	1.000										
C/N	0.105	0.167	-0.167	-0.372	1.000									
$\delta^{13}\text{C}$	-0.583	0.290	-0.290	0.409	0.182	1.000								
S8	-0.392	0.438	-0.438	0.578	-0.223	0.287	1.000							
λ	-0.221	0.445	-0.445	-0.042	0.019	0.041	0.723	1.000						
V	0.125	0.479	-0.479	-0.053	-0.038	-0.136	0.575	0.853	1.000					
S	-0.181	0.201	-0.201	-0.113	0.030	-0.086	0.613	0.881	0.648	1.000				
C	-0.726	0.214	-0.214	0.286	-0.115	0.359	0.677	0.664	0.322	0.563	1.000			
C/V	-0.728	0.042	-0.042	0.399	0.042	0.617	0.341	0.142	-0.231	0.111	0.758	1.000		
S/V	-0.308	-0.205	0.205	-0.038	0.306	0.348	-0.046	-0.137	-0.530	0.169	0.204	0.520	1.000	
(Ad/Al)v	-0.060	-0.295	0.295	0.041	0.012	0.186	0.152	0.016	-0.197	0.294	0.120	0.210	0.710	1.000

Anexo VI. Correlação de Spearman entre os parâmetros granulométricos e geoquímicos entre os testemunhos C02 e C09 na Lagoa Manguaba. Em negrito, valores significativos ($p < 0,01$), $n=27$.

	Prof.	Argila	Silte	CO	C/N	$\delta^{13}\text{C}$	S8	λ	V	S	C	C/V	S/V	(Ad/Al)v
Prof.	1.000													
Argila	0.174	1.000												
Silte	-0.164	-0.999	1.000											
CO	-0.765	-0.265	0.267	1.000										
C/N	0.658	0.015	-0.008	-0.434	1.000									
$\delta^{13}\text{C}$	-0.730	-0.374	0.369	0.715	-0.403	1.000								
S8	-0.457	-0.455	0.452	0.305	-0.487	0.515	1.000							
λ	-0.175	-0.117	0.137	-0.034	-0.306	0.136	0.663	1.000						
V	-0.058	-0.083	0.104	-0.148	-0.223	0.015	0.564	0.962	1.000					
S	-0.114	-0.098	0.118	-0.079	-0.228	0.101	0.629	0.986	0.964	1.000				
C	-0.602	-0.090	0.090	0.402	-0.559	0.502	0.650	0.572	0.398	0.498	1.000			
C/V	-0.537	0.023	-0.047	0.303	-0.433	0.366	0.149	-0.231	-0.401	-0.321	0.519	1.000		
S/V	0.050	-0.023	0.036	0.019	-0.002	-0.031	0.335	0.391	0.240	0.413	0.440	-0.022	1.000	
(Ad/Al)v	-0.239	0.468	-0.472	0.046	-0.152	-0.080	-0.312	-0.264	-0.302	-0.285	0.122	0.417	-0.179	1.000

Anexo VII. Correlação de Spearman entre os parâmetros granulométricos e geoquímicos entre os testemunhos C06 e C07 na Lagoa Mundaú. Em negrito, valores significativos ($p < 0,01$), $n=30$.

Amostra	Prof. (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Finos (%)	CO (%)	N (%)	C/N (molar)	N/C (molar)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	S8 (mg/10g peso seco)								
												λ	P	V	S	C	C/V	S/V	LPVI
C09 2	3	26.6	73.4	-	100	3.8	0.4	10	0.10	-21.0	0.75	0.20	0.06	0.06	0.10	0.04	0.67	1.81	1313
C09 3	5	25.1	74.9	-	100	3.3	0.3	11	0.09	-22.3	0.73	0.22	0.07	0.09	0.10	0.03	0.37	1.20	371
C09 6	11	27.3	72.7	-	100	3.0	0.3	11	0.09	-22.2	0.92	0.31	0.10	0.11	0.15	0.04	0.39	1.31	442
C09 8	15	25.1	74.9	-	100	2.4	0.2	10	0.10	-23.1	0.63	0.26	0.08	0.09	0.13	0.04	0.44	1.38	546
C09 10	19	25.2	74.8	-	100	2.8	0.3	11	0.09	-22.1	0.67	0.19	0.05	0.06	0.10	0.04	0.62	1.56	1025
C09 12	23	23.1	76.9	-	100	2.7	0.2	11	0.09	-22.2	0.52	0.19	0.06	0.06	0.10	0.03	0.49	1.58	745
C09 16	31	22.5	77.5	-	100	2.1	0.1	15	0.07	-22.6	0.49	0.23	0.08	0.08	0.11	0.03	0.39	1.42	489
C09 18	35	23.0	77.0	-	100	2.8	0.3	10	0.10	-22.2	0.47	0.17	0.06	0.06	0.08	0.03	0.51	1.40	681
C09 20	39	25.2	74.8	-	100	3.5	0.3	11	0.09	-20.9	0.63	0.18	0.06	0.06	0.10	0.02	0.44	1.74	687
C09 22	43	26.5	73.5	-	100	2.6	0.2	10	0.10	-22.5	0.71	0.28	0.08	0.10	0.14	0.03	0.29	1.39	315
C09 24	47	28.5	71.5	-	100	2.8	0.3	11	0.09	-22.7	0.81	0.29	0.10	0.11	0.15	0.04	0.33	1.32	352
C09 25	49	29.2	70.8	-	100	2.6	0.2	11	0.09	-23.1	0.64	0.25	0.07	0.10	0.12	0.03	0.35	1.26	359
C09 26	52	27.6	72.4	-	100	2.8	0.3	11	0.09	-22.6	0.55	0.20	0.06	0.08	0.10	0.02	0.26	1.17	228
C09 27	56	26.8	73.2	-	100	3.1	0.3	11	0.09	-22.6	0.56	0.18	0.05	0.07	0.08	0.03	0.36	1.14	335
C09 28	60	24.1	75.9	-	100	2.9	0.3	11	0.09	-22.8	0.51	0.18	0.05	0.07	0.09	0.02	0.32	1.30	340
C09 29	64	47.9	52.1	-	100	2.8	0.3	10	0.10	-22.9	0.66	0.24	0.06	0.10	0.11	0.03	0.27	1.16	241
C09 30	68	20.6	79.3	-	100	2.7	0.3	10	0.10	-23.4	0.52	0.19	0.06	0.08	0.09	0.03	0.31	1.03	243
C02 2	3	28.1	71.9	-	100	3.9	0.4	9	0.11	-20.0	0.99	0.26	0.08	0.10	0.11	0.05	0.52	1.1	561
C02 4	7	27.1	72.9	-	100	3.5	0.3	10	0.10	-21.2	0.86	0.24	0.07	0.09	0.11	0.04	0.48	1.2	552
C02 6	11	26.0	74.0	-	100	3.1	0.3	10	0.10	-21.2	0.69	0.22	0.08	0.08	0.10	0.04	0.55	1.3	701
C02 8	15	22.1	77.9	-	100	2.7	0.3	10	0.10	-21.8	0.61	0.22	0.08	0.08	0.11	0.03	0.42	1.5	549
C02 10	19	25.4	74.6	-	100	2.9	0.3	11	0.09	-21.7	0.70	0.24	0.08	0.09	0.11	0.04	0.47	1.2	517
C02 12	23	25.3	74.7	-	100	2.6	0.3	10	0.10	-21.5	0.58	0.22	0.07	0.09	0.11	0.03	0.30	1.3	303
C02 14	27	25.0	75.0	-	100	3.3	0.3	10	0.10	-21.1	0.89	0.27	0.07	0.09	0.13	0.05	0.56	1.4	807
C02 16	31	24.7	75.3	-	100	2.8	0.3	10	0.10	-22.0	0.54	0.19	0.06	0.07	0.10	0.02	0.25	1.3	246
C02 18	35	24.6	75.4	-	100	2.8	0.3	11	0.09	-21.4	0.64	0.23	0.07	0.10	0.10	0.02	0.24	1.1	192
C02 20	39	25.0	75.0	-	100	3.1	0.3	11	0.09	-23.3	0.72	0.24	0.08	0.09	0.12	0.03	0.33	1.3	348

Anexo VIII. Parâmetros geoquímicos obtidos para os testemunhos C02 e C09 na Lagoa Manguaba.

Amostra	Prof. (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Finos (%)	CO (%)	N (%)	C/N (molar)	N/C (molar)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	S8 (mg/10g peso seco)	λ	P (mg/100mg CO)	V	S	C	C/V	S/V	LPVI
C06 1	1	22.1	77.9	-	100	2.6	0.3	10	0.10	-20.8	0.49	0.19	0.04	0.06	0.09	0.04	0.75	1.60	1379
C06 2	2	21.4	78.6	-	100	2.3	0.2	10	0.10	-20.5	0.40	0.17	0.04	0.05	0.07	0.05	0.94	1.37	1585
C06 4	7	22.9	77.1	-	100	2.4	0.3	9	0.11	-19.9	0.94	0.40	0.11	0.13	0.21	0.07	0.52	1.62	822
C06 6	11	19.9	80.1	-	100	2.4	0.2	10	0.10	-21.1	0.43	0.18	0.04	0.05	0.08	0.05	0.86	1.43	1478
C06 8	15	18.4	81.6	-	100	2.3	0.2	10	0.10	-20.3	0.39	0.17	0.04	0.05	0.07	0.05	1.08	1.49	2114
C06 10	19	19.7	80.3	-	100	2.3	0.2	11	0.09	-20.5	0.40	0.17	0.04	0.05	0.08	0.04	0.79	1.55	1442
C06 11	21	18.5	81.5	-	100	2.3	0.2	10	0.10	-20.3	0.57	0.25	0.06	0.07	0.13	0.05	0.79	1.85	1699
C06 13	25	19.3	80.7	-	100	2.2	0.2	11	0.09	-21.5	0.32	0.15	0.03	0.05	0.07	0.03	0.74	1.42	1188
C06 15	29	17.3	82.7	-	100	2.2	0.2	11	0.09	-21.3	0.42	0.19	0.04	0.06	0.09	0.05	0.86	1.53	1588
C06 16	31	16.8	83.2	-	100	2.2	0.2	12	0.09	-20.0	0.51	0.23	0.06	0.09	0.11	0.03	0.36	1.31	388
C06 17	33	16.8	83.2	-	100	2.0	0.2	10	0.10		0.74	0.36	0.06	0.12	0.19	0.05	0.46	1.67	710
C06 18	35	18.1	81.9	-	100	2.1	0.2	11	0.09	-21.1	0.66	0.31	0.08	0.09	0.17	0.05	0.50	1.82	867
C06 19	37	16.6	83.4	-	100	2.1	0.2	11	0.09	-20.8	0.37	0.18	0.04	0.06	0.08	0.04	0.73	1.49	1222
C06 20	39	25.4	74.6	-	100	2.0	0.2	11	0.09	-21.4	0.30	0.15	0.03	0.04	0.07	0.04	0.89	1.66	1817
C06 21	41	25.5	74.5	-	100	2.1	0.2	11	0.09	-22.3	0.36	0.17	0.04	0.05	0.08	0.04	0.84	1.56	1560
C06 22	43	21.7	78.3	-	100	1.6	0.1	12	0.09	-21.9	0.21	0.13	0.04	0.04	0.06	0.02	0.64	1.59	1082
C06 23	45	24.8	75.2	-	100	1.9	0.2	11	0.09	-22.8	0.27	0.15	0.04	0.05	0.07	0.02	0.45	1.52	624
C06 24	47	24.6	75.4	-	100	1.6	0.1	11	0.09	-22.3	0.28	0.18	0.05	0.06	0.08	0.03	0.41	1.32	472
C07 1	1	26.9	73.2	-	100	3.2	0.3	9.0	0.11	-20.0	0.46	0.15	0.03	0.05	0.07	0.03	0.52	1.49	754
C07 2	3	27.6	72.3	-	100	2.8	0.3	9.6	0.10	-20.9	0.50	0.18	0.04	0.05	0.09	0.03	0.62	1.62	1064
C07 4	7	27.7	72.2	-	100	2.6	0.2	10	0.10	-21.2	0.37	0.14	0.03	0.04	0.07	0.03	0.72	1.61	1300
C07 6	11	28.7	71.2	-	100	2.4	0.3	10	0.10	-20.0	0.41	0.17	0.03	0.05	0.08	0.04	0.71	1.68	1335
C07 8	15	29.0	71.0	-	100	2.4	0.2	13	0.08	-20.7	0.38	0.16	0.03	0.05	0.08	0.03	0.55	1.58	865
C07 10	19	26.6	73.3	-	100	2.2	0.2	12	0.08	-21.1	0.54	0.24	0.04	0.06	0.15	0.03	0.50	2.28	1072
C07 12	23	29.0	71.1	-	100	2.3	0.2	10	0.10	-21.1	0.62	0.27	0.04	0.06	0.17	0.04	0.66	2.69	1815
C07 14	27	25.6	74.3	-	100	2.3	0.2	11	0.09	-20.6	0.57	0.09	0.03	0.03	0.04	0.02	0.72	1.25	989
C07 16	31	25.6	74.4	-	100	2.1	0.2	11	0.09	-21.8	0.44	0.21	0.03	0.06	0.12	0.02	0.37	2.05	629
C07 18	35	28.6	71.4	-	100	2.1	0.2	11	0.09	-21.6	0.30	0.14	0.03	0.05	0.08	0.01	0.27	1.49	309
C07 20	39	30.0	70.0	-	100	2.0	0.2	11	0.09	-21.9	0.30	0.15	0.03	0.05	0.08	0.02	0.40	1.52	525
C07 22	44	27.9	72.2	-	100	2.0	0.2	11	0.09	-22.2	0.45	0.22	0.04	0.07	0.12	0.03	0.37	1.71	543

Anexo IX. Parâmetros geoquímicos obtidos para os testemunhos C06 e C07 na Lagoa Mundaú.

Amostra	Prof. (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Finos (%)	CO (%)	N (%)	C/N (molar)	N/C (molar)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	S8 (mg/10g peso seco)	(mg/100mg CO)							
												λ	P	V	S	C	C/V	S/V	LPVI
C08 1	2	6.0	45.7	48	52	2.8	0.1	25	0.04	-25.4	0.54	0.20	0.09	0.10	0.09	0.01	0.11	0.88	67
C08 2	6	2.3	63.7	34	66	3.0	0.1	22	0.05	-25.0	0.69	0.23	0.02	0.11	0.10	0.02	0.15	0.91	91
C08 3	10	3.3	92.7	4	96	2.2	0.2	12	0.09	-21.7	1.19	0.53	0.09	0.21	0.25	0.07	0.33	1.21	323
C08 4	14	2.7	79.5	18	82	1.9	0.1	14	0.07	-21.7	0.80	0.43	0.06	0.18	0.19	0.06	0.31	1.04	254
C08 5	18	2.9	92.7	4	96	2.0	0.1	17	0.06	-22.7	1.03	0.52	0.06	0.21	0.21	0.09	0.43	0.99	367
C08 7	26	3.9	68.9	27	73	2.2	0.1	18	0.06	-22.5	1.42	0.66	0.09	0.30	0.30	0.05	0.18	1.01	126
C08 8	28	2.6	55.8	42	58	2.0	0.1	16	0.06	-21.7	2.22	1.12	0.12	0.47	0.50	0.14	0.30	1.06	245

Anexo X. Parâmetros geoquímicos obtidos para o testemunho C08 no Rio Mundaú.

Contato:

marinabiouff@gmail.com

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)