



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

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 522**

**ESTABELECIMENTO E EXPANSÃO DOS  
MANGUEZAIS DE LAGUNA-SC: EFEITO DO  
AQUECIMENTO GLOBAL OU RESULTADO DE  
PROCESSOS SEDIMENTARES?**

**Dissertação apresentada por:**

**JAINÉ FREITAS SOARES**

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen (UFPA)**

**BELÉM  
2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

---

Soares, Jaine Freitas, 1993-

Estabelecimento e expansão dos manguezais de Laguna-SC: efeito do aquecimento global ou resultado de processos sedimentares naturais? / Jaine Freitas Soares. – 2018

xiv, 54 f. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Marcelo Cancela Lisboa Cohen

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2018.

1. Palinologia - Santo Antônio, Lagoa de (SC). 2. Isótopos. 3. Florestas de mangue - Santo Antônio, Lagoa de (SC). 4. Mudanças climáticas - Santo Antônio, Lagoa de (SC). I. Título.

---

CDD 22. ed.: 571.8452098164

Elaborado por  
Hélio Braga Martins  
CRB-2/698



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**ESTABELECIMENTO E EXPANSÃO DOS MANGUEZAIS DE  
LAGUNA-SC: EFEITO DO AQUECIMENTO GLOBAL OU  
RESULTADO DE PROCESSOS SEDIMENTARES NATURAIS?**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR**

**JAINE FREITAS SOARES**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de  
GEOLOGIA**

**Data de Aprovação: 19 / 03 / 2018**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen**  
**Orientador - UFPA**

**Prof. Dr. Luiz-Carlos Ruiz Pessenda**  
**Membro - USP**

**Prof. Dr. José Augusto Martins Corrêa**  
**Membro - UFPA**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me proporcionado força e tranquilidade para vencer esta etapa importante em minha vida.

Aos meus queridos pais Jaira, Francisco e irmão Felipe por todo amor incondicional e por sempre estarem ao meu lado acreditando em meu potencial, apoiando-me em toda essa jornada.

Ao meu namorado Rubem por compartilhar tantos momentos desta caminhada, me apoiando, aconselhando e me ouvindo nos momentos de aflição.

A todos da família em especial à tia Cleida, minha paraninfa e maior incentivadora dos estudos da família. Obrigada pela dedicação e por torcer sempre pelo meu sucesso.

Ao meu orientador Prof. Marcelo Cohen pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa, por sempre estar presente em todas as etapas, além de todos os ensinamentos transmitidos contribuindo para que eu me torne uma profissional cada vez melhor.

Ao prof. Marlon França pelo acompanhamento desde o início do trabalho, pela disponibilidade em ajudar no que for preciso, contribuindo sempre de maneira construtiva para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus amigos, Allana, Fernando, Érika, Neuza, Patricia, Samuel e Nedra do Laboratório de Dinâmica Costeira (LADIC) pelo grande companheirismo e amizade que desenvolvemos ao longo destes dois anos.

À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao programa de pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) por fornecer toda estrutura necessária para o desenvolvimento desta pesquisa. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico e Científico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo e financiamento do projeto em que o trabalho está inserido. Ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia (IFPA) e ao Laboratório de  $^{14}\text{C}$  no Centro de Energia Nuclear (CENA-USP) que ajudaram no desenvolvimento do trabalho.

Por fim, a todas as pessoas, indistintamente, que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho e para a superação de todos os obstáculos.

*“Só os homens sagazmente ativos, que conhecem suas aptidões e as usam com medida e sensatez, poderão fazer avançar substancialmente o mundo”*

Johann Goethe

## RESUMO

A integração de dados polínicos, isotópicos ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , C/N), feições sedimentares e datação por  $^{14}\text{C}$  e  $^{210}\text{Pb}$  a partir de quatro testemunhos (LAG3, LAG4, LAG5 e LAG6) coletados em uma barra arenosa na lagoa de Santo Antônio, município de Laguna, Santa Catarina, permitiu a reconstituição paleoambiental dos últimos 900 anos AP. Os dados revelam duas associações de fácies ao longo destes testemunhos: (A) Barra arenosa, representada por depósitos arenosos maciços (fácies Sm) e (B) Planície de maré, representada pelas fácies acamamento heterolítico lenticular (Hl) e acamamento heterolítico wavy (Hw). Os depósitos da barra arenosa foram acumulados entre >940 e ~431 cal anos AP, provavelmente sob influência de um Nível Relativo do Mar (NRM) estável ou subida do NRM durante os últimos 1000 anos. O conteúdo polínico preservado ao longo da fase da barra arenosa indica um predomínio de árvores, arbustos, ervas e algumas palmeiras oriundos das unidades de vegetação do entorno da lagoa. A relação  $\delta^{13}\text{C}$  (-24‰ - 15‰) e C/N (6-30) desta associação de fácies revela uma forte contribuição de matéria orgânica de algas marinhas e plantas terrestres  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ . Durante o acúmulo dos depósitos da planície de maré, ocorridos nos últimos 60 anos, houve a implantação principalmente de *Spartina* com alguns arbustos de *Laguncularia* espaçados. A relação  $\delta^{13}\text{C}$  (-24‰ - 16‰) e C/N (7-22) revela uma origem da matéria orgânica sedimentar similar ao período da barra arenosa. Com base nesses dados e nos gradientes de temperatura na distribuição da *Spartina* e nos gêneros de árvores de manguezais ao longo da costa de Santa Catarina é razoável propor que a recente colonização de *Laguncularia* na região de Laguna está sendo causada pelo aumento gradual das temperaturas mínimas de inverno observado nos últimos 50 anos. Caso de fato exista uma relação entre essa tendência climática e a expansão das árvores de *Laguncularia* para sul do Brasil, a superfície das barras arenosas e planícies de maré lamosas da margem das lagoas do sul do Brasil, hoje em grande parte ocupadas por *Spartina*, serão gradualmente colonizadas e/ou substituídas não apenas por *Laguncularia*, mas também por *Avicennia* e dentro de mais alguns anos por *Rhizophora*.

Palavras-chave: Palinologia. Isótopos. Manguezais. Gradiente de temperatura. Lagoa de Santo Antônio.

## ABSTRACT

The integration of pollen, isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , C/N), sedimentary features,  $^{14}\text{C}$  and  $^{210}\text{Pb}$  dating from four sediment cores (LAG-3, LAG-4, LAG-5 e LAG-6). Sampled from a sandbar at Santo Antônio Lagoon, Laguna City, Santa Catarina, allowed the paleoenvironmental reconstruction of the last 900 years BP. The dates reveal two facies associations along these cores: (A) Sandbar, represented by massive sand (facies Sm), and (B) tidal flat, represented by lenticular heterolithic bedding (HI) and wavy heterolithic bedding (Hw). The deposits of sand bar was accumulated between  $>940$  e  $\sim 431$  cal years BP, probably under influence of a stable relative sea level (RSL) or rise of RSL during the last 1000 years. The pollen data preserved along the sandbar phase indicate a predominance of trees, shrubs herbs and some palms originating from vegetation units surrounding the lagoon. The relation  $\delta^{13}\text{C}$  (-24‰ - 15‰) and C/N (6-30) of this facies association reveals a strong contribution of organic matter from marine algae and terrestrial plants  $\text{C}_3$  and  $\text{C}_4$ . During the accumulation of tidal flat deposits, occurred during the last 60 years, there was the establishment mainly of *Spartina* with some spaced *Laguncularias* shrubs. The relation  $\delta^{13}\text{C}$  (-24‰ - 16‰) and C/N (7-22) reveals an origin of sedimentary organic matter similar to the period of sandbar deposits. Based on this data and distribution gradient of *Spartina* and on mangrove's trees genus along the Santa Catarina coast, is reasonable to propose that the recent colonization of *Laguncularia* at region of Laguna has been caused by gradual increase in minimum winter temperatures observed during last 50 years. Whether the climatic trend is the main force driving the expansion of *Laguncularia* trees to southern Brazil, the surface of the sandybars and tidal flats of the lagoon margin of southern Brazil, now largely occupied by *Spartina*, will be gradually colonized and/or replaced not only by *Laguncularia*, but also by *Avicennia*, followed during the next years, by *Rhizophora*.

Keywords: Palynology. Isotopes. Mangroves. Temperature gradient. Santo Antônio lagoon.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Localização da área de estudo em Santa Catarina.....	4
Figura 2- Mapa geomorfológico da área de estudo.....	5
Figura 3- Mapa de vegetação da área de estudo.....	6
Figura 4- Estruturas sedimentares obtidas através de raio X. A) Testemunho LAG-3 B) Testemunho LAG-4 C) Testemunho LAG-5 D) Testemunho LAG-6 .....	10
Figura 5- Identificação e contagem de grãos de pólen.....	15
Figura 6- Valores isotópicos característicos de plantas de ciclo fotossintético C3, C4 e CAM . .....	18
Figura 7- Valores de $C^{13}$ e $C/N$ das fontes de matéria orgânica sedimentar terrestre e marinha. .....	19
Figura 8- Formação natural do $^{14}C$ na estratosfera, sua incorporação pelas plantas e animais e decaimento radioativo após a sua morte..	20
Figura 9- Ciclo biogeoquímico do Pb-210. onde Pb-210xs é o não produzido e o Pb-210s é o produzido. ....	22
Figura10- Média da temperatura Global da superfície terrestre e oceânica. As cores indicam diferentes conjuntos de dados.....	23
Figura 11- As Lagunas costeiras foram subdividas em: a)“choked”, b)“restricted” e c) “leaky”, baseada no grau de troca de água com o oceano adjacente. .	28



- Figura 12- Resultado esquemático para o testemunho LAG3 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis cronológicos e litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, bem como os grupos polínicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama de pólen como porcentagens da soma total dos grãos pólen.. 28
- Figura 13- Resultado esquemático para o testemunho LAG-3 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis cronológicos e litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, dados isotópicos, assim como os grupos ecológicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama como porcentagens da soma total dos grãos. .... 29
- Figura 14- Resultado esquemático para o testemunho LAG4 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, bem como os grupos polínicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama como porcentagens da soma total dos grãos. . .... 30
- Figura 15- Resultado esquemático para o testemunho LAG4 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, resultados isotópicos, bem como os grupos polínicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama como porcentagens da soma total dos grãos. . .... 31
- Figura 16- Resultado esquemático para o testemunho LAG5 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, bem como os grupos polínicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama como porcentagens da soma total dos grãos. .... 32
- Figura 17- Resultado esquemático para o testemunho LAG5 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, resultados isotópicos, bem como os grupos polínicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama como porcentagens da soma total dos grãos. . .... 33

- Figura 18- Resultado esquemático para o testemunho LAG 6 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, bem como os grupos polínicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama como porcentagens da soma total dos grãos. . . . . 34
- Figura 19- Resultado esquemático para o testemunho LAG 6 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, resultados isotópicos, bem como os grupos polínicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama como porcentagens da soma total dos grãos. . . . . 35
- Figura 20- Diagrama ilustrando a relação entre C13 e C\N nos diferentes testemunhos. . . . . 38

**LISTA DE ABREVIATURAS**

MAS	Accelerator mass spectrometer - Espectometro de massa acoplado a um acelerador de partículas
Anos A.P.	Idade anos antes do presente
C-total	Carbono Total
C/N	Razão carbono nitrogênio
cal. anos A.P	Idade calibrada antes do Presente
CAM	Crassulacean and metabolism
CENA	Centro de energia Nuclear na agricultura
<sup>14</sup> C	Carbono 14
IFPA	Ciência e Tecnologia do Pará
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LACUF	Universidade Federal Fluminense
LADIC	Laboratorio de dinâmicas costeiras
LOQ	Laboratório de oceanografia química
N-total	Nitrogênio Total
NRM	Nível relativo do mar
Pb-210	Chumbo 210
USP	Universidade de São Paulo

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iv
<b>EPÍGRAFE</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	viii
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	xi
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO.....	3
1.3 CLIMA .....	6
1.4 VEGETAÇÃO.....	6
1.5 SOLO.....	8
<b>1.6 OBJETIVOS</b> .....	8
<b>1.6.1 Geral</b> .....	8
<b>1.6.2 Específicos</b> .....	8
<b>CAPÍTULO 2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	9
2.1 TRABALHO DE CAMPO.....	9
2.2 ANÁLISE DE FÁCIES SEDIMENTARES .....	9
2.3 DATAÇÃO POR $^{14}\text{C}$ .....	11
2.4 DATAÇÃO POR Pb-210 .....	11
2.5 PRÉ-TRATAMENTO DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO PARA ANÁLISE DO $\delta^{15}\text{N}$ , $\delta^{13}\text{C}$ , C ORGÂNICO E N TOTAL.....	12
2.6 MÉTODOS PALINOLÓGICOS.....	13

<b>2.6.1</b>	<b>Processamento das amostras</b> .....	13
<b>2.6.2</b>	<b>Tratamento com Ácido Clorídrico (HCl)</b> .....	13
<b>2.6.3</b>	<b>Tratamento com Ácido Fluorídrico (HF)</b> .....	14
<b>2.6.4</b>	<b>Tratamento com Ácido Acético Glacial (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>)</b> .....	14
<b>2.6.5</b>	<b>Tratamento com Acetólise</b> .....	14
<b>2.7</b>	<b>PREPARAÇÃO DE LÂMINAS PARA MICROSCOPIA</b> .....	15
<b>2.8</b>	<b>ANÁLISE MICROSCÓPICA E CONFECÇÃO DE GRÁFICOS POLÍNICOS</b> .....	15
	<b>CAPÍTULO 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
<b>3.1</b>	<b>PALINOLOGIA</b> .....	16
<b>3.2</b>	<b>CICLOS FOTOSSINTÉTICOS C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> E CAM</b> .....	17
<b>3.3</b>	<b>RAZÃO C/N</b> .....	18
<b>3.4</b>	<b>DATAÇÃO <sup>14</sup>C</b> .....	19
<b>3.5</b>	<b>Pb-210</b> .....	20
<b>3.6</b>	<b>FLUTUAÇÕES DO NÍVEL RELATIVO DO MAR DURANTE OS ÚLTIMOS MIL ANOS NO MUNDO</b> .....	22
<b>3.8</b>	<b>A ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DA ATMOSFERA NO MUNDO DURANTE OS ÚLTIMOS 100 ANOS</b> .....	24
<b>3.7</b>	<b>FORMAÇÃO DE BARRAS ARENOSAS</b> .....	27
<b>3.9</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LAGUNAS COSTEIRAS</b> .....	27
	<b>CAPÍTULO 4 RESULTADOS</b> .....	29
<b>4.1</b>	<b>DATAÇÃO POR <sup>14</sup>C, <sup>210</sup>Pb E TAXA DE SEDIMENTAÇÃO</b> .....	29
<b>4.2</b>	<b>ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES, DESCRIÇÃO POLÍNICA E ISOTÓPICA</b> .....	29
<b>4.2.1</b>	<b>Associação de fácies A (Barra arenosa)</b> .....	30
<b>4.2.2</b>	<b>Associação de fácies B (Planície de maré)</b> .....	31
	<b>CAPÍTULO 5 INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÕES</b> .....	36
<b>5.1</b>	<b>OS MANGUEZAIS COMO PROTETORES DA LINHA DE COSTA</b> .....	38

5.2 EXPANSÃO DOS MANGUEZAIS PARA O NORTE DOS EUA .....	39
<b>CAPITULO 6 CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	43

## CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A distribuição mundial dos manguezais tem variado ao longo do tempo geológico e da história da humanidade, aproximadamente 75% das costas tropicais ao redor do mundo já foram um dia margeadas por manguezais (Chapman, 1976). No Brasil as florestas de mangue se estendem desde o estado do Amapá até o limite sul no estado de Santa Catarina. Entretanto, aproximadamente 85% dos manguezais brasileiros ocorrem ao longo de 1800 km da costa do norte dos estados do Amapá, Pará e Maranhão, que juntos contêm 10,713 km<sup>2</sup> (Vannucci 1999, Schaeffer-Novelli *et al.* 1990).

Os manguezais são ecossistemas de transição entre o ambiente marinho e terrestre, ocorrem ao longo de regiões tropicais e subtropicais (Schaeffer-Novelli, Cintrón & Soares, 2000). Eles são responsáveis por muitas funções, tais como a proteção das zonas costeiras contra a ação das ondas e ventos, além da manutenção da biodiversidade nos estuários adjacentes (Ewel *et al.* 1998, Madza *et al.* 2006).

A distribuição dos manguezais é controlada por fatores climáticos e por outros fatores tais como energia de ondas, regimes de maré, geomorfologia costeira, topografia, tipo de substrato, condições de salinidade e disponibilidade de nutrientes (Quisthoudt *et al.* 2012).

Os ecossistemas costeiros como o manguezal são extremamente susceptíveis às alterações climáticas (Alongi, 2008), o aumento da temperatura do ar e do mar, aumento dos níveis de CO<sub>2</sub>, alterações no nível do mar e na frequência de tempestades são fatores que podem causar um impacto significativo sobre a fisiologia do mangue e funcionamento deste ecossistema (Reef *et al.* 2010).

Em uma escala global, a distribuição espacial dos manguezais pode ser consequência ainda da interação continente-oceano e sua expansão ser controlada pela topografia em relação ao nível do mar, (Cohen & Lara 2003, Cohen *et al.* 2012, Gornitz 1991), além das condições das correntes e ondas (Woodroffe 1995). Entretanto, existe um parâmetro que ganha relevância para a sobrevivência dos manguezais na medida em que nos aproximamos dos limites de latitudes entre as zonas tropicais e temperadas: temperatura do ar.

Os manguezais se desenvolvem apenas onde a média mensal mais fria da temperatura do ar está acima de 20°C e a variação sazonal não atinge 10°C, pois as espécies de manguezais têm

pouca tolerância às baixas temperaturas do ar (Pomeroy & Chapman 1978). Neste sentido, estariam os manguezais do Sul do Brasil respondendo aos efeitos do aquecimento do ar e do mar nas últimas décadas?

Alongi (2008) propõe que o aumento da temperatura atmosférica provocaria uma diminuição da assimilação fotossintética em áreas áridas e aumentaria em áreas de elevada pluviosidade. Além disso, o aumento da temperatura pode levar à mudanças na composição das espécies de manguezal devido à diferença de tolerância entre as espécies à variação de temperatura (Lugo *et al.* 2007).

Os manguezais podem responder de diversas formas às mudanças climáticas, entretanto, assume-se que estes poderão se expandir latitudinalmente devido aos efeitos do aquecimento global, desde que haja áreas disponíveis para o seu desenvolvimento, pois áreas urbanizadas inviabilizarão o seu crescimento (Soares *et al.* 2012).

O que geralmente ocorre, no entanto, é uma diminuição da riqueza de espécies de mangue em latitudes elevadas (Duke *et al.* 1998; Spalding *et al.* 1997; Woodroffe & Grindrod 1991). Essas espécies são bem distribuídas ao longo de gradientes de concentração de sal, desde regiões pouco salinas até as de elevada salinidade e em substratos arenosos ou lamosos (Quisthoudt *et al.* 2012).

O litoral do estado de Santa Catarina está localizado entre o rio Araranguá e a Laguna de Santo Antônio. Esta região é caracterizada por um regime de micromaré (marés de até 2 metros de altura) e a temperatura da superfície dos oceanos varia sazonalmente entre as isotermas de 18°C e 24°C (Stewart 2007). A planície costeira é amplamente dominada por extensos cordões arenosos que formam lagunas costeiras.

Tendo em vista que os manguezais poderão migrar para latitudes mais altas substituindo os pântanos salinos, Soares *et al.* (2012) verificou a importância de se localizar o limite latitudinal do mangue no Brasil e entender como eles se desenvolveram até esses limites bem como analisar o potencial efeito e respostas desse ecossistema a possíveis aquecimentos do planeta.

Os resultados deste estudo confirmaram que a Laguna de Santo Antônio no município de Laguna é o limite do sul dos manguezais do oceano Atlântico Ocidental, mais ao sul desse ponto as espécies de mangue são substituídas por pântanos salinos formando predominantemente por *Spartina*.



Portanto, considerando a latitude dos manguezais de Laguna-SC, estes poderiam ser um reflexo do aquecimento das massas de ar da região de estudo durante os últimos 150 anos e/ou simplesmente um reflexo natural do aquecimento ao longo do Holoceno, ou ainda ser um produto da dinâmica natural de formação de barras arenosas no interior de uma laguna, onde a relação nível do mar e a superfície da barra favoreceu o desenvolvimento do manguezal de estudo.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO E GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

O estado de Santa Catarina possui uma área de 66.212 km<sup>2</sup>, está localizado entre a região Sul e a costa Sudeste do Brasil (figura 1), entre as latitudes sul de 25°57'41" e 29°23'55". O estado é formado por duas unidades geológicas: o embasamento e as bacias de Pelotas e Santos (Filho 2003). A Província Costeira é dividida em 3 setores: Norte, Central e Sul. O embasamento sul compreende rochas sedimentares basálticas; o central é predominantemente granítico e o norte é formado por rochas graníticas e metamórficas, como gnaisses, migmatitos, granulitos e xistos (Filho 2003).

A bacia de pelotas é representada pela porção emersa da planície costeira, enquanto que a bacia de Santos está associada à porção submersa da plataforma continental. A cobertura sedimentar holocênica da plataforma continental inclui diversas fácies. A planície costeira compreende os sistemas deposicionais continental e transicional ou costeiro, representado pelos depósitos coluviais de leque aluvial, fluvial, praias, eólico, lagunar e paludial (Filho 2003).

A região estuarina em estudo encontra-se 130 km ao sul de Florianópolis, capital de Santa Catarina, incluindo as lagoas de Santo Antônio, Imaruí e Mirim. O sistema Lagunar está posicionado entre as cidades de Imbituba e Laguna, ocupando cerca de 40 km de extensão.

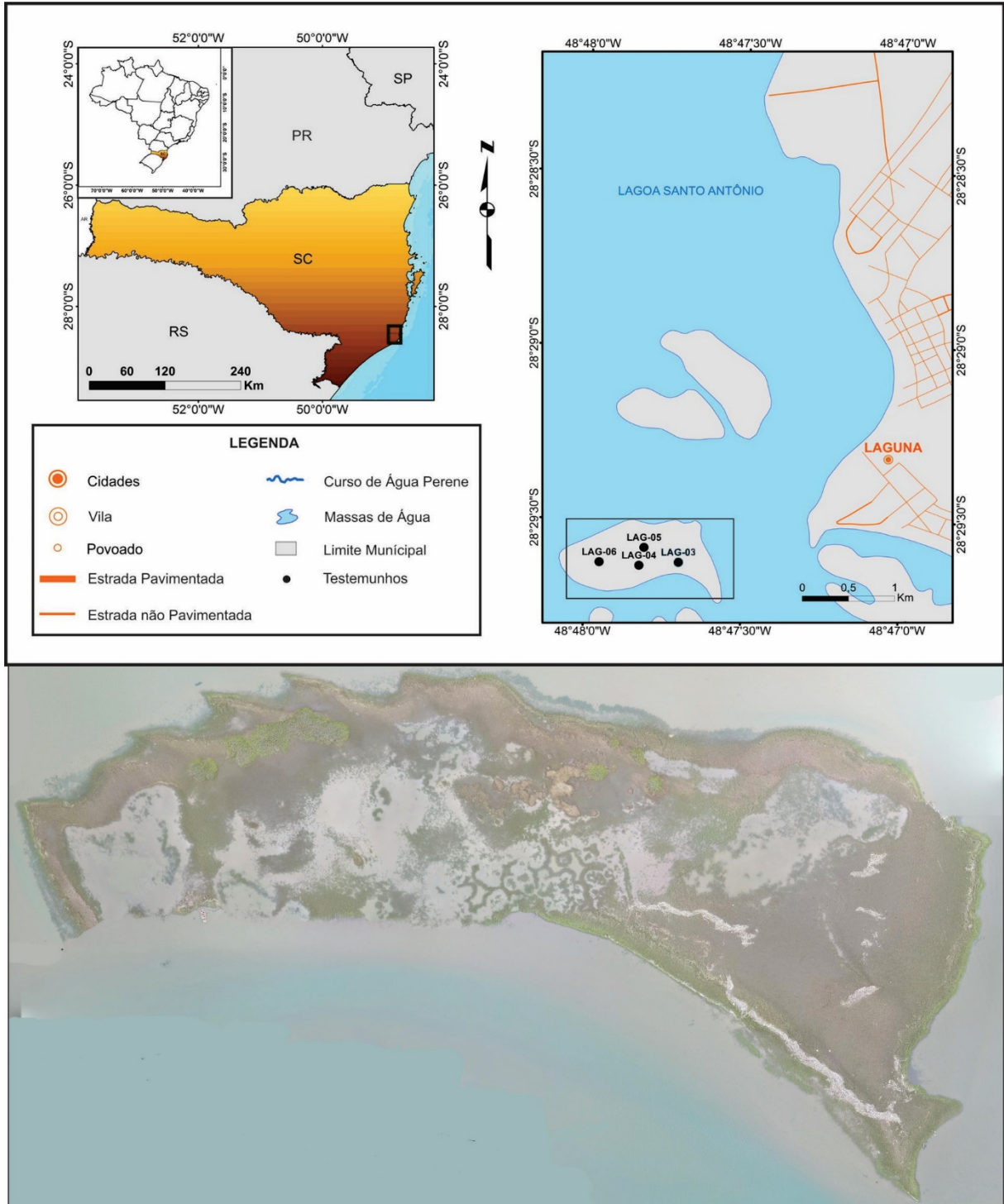


Figura 1- Localização da área de estudo em Santa Catarina.  
(Fonte: Drone 2015).

Considerando a geomorfologia, esse sistema lagunar é caracterizado por uma série de células elípticas, conectadas ao oceano adjacente por um único canal estreito, o que permite classificá-la como do tipo sufocado (Kjerfve & Magill 1989). Estas células são recorrentes em

regiões costeiras com alta energia de ondas de gravidade, regiões de micromaré e que apresentam significativa deriva litorânea. O canal de entrada da laguna atua como um filtro dinâmico, em consequência disso, os efeitos da ação da maré e das correntes são bastante atenuados no interior da laguna (Miranda *et al.* 2002).

Os sedimentos do Quaternário, presentes na região costeira do estado de Santa Catarina, dispõe de uma diversidade de fácies deposicionais relacionadas aos processos eólicos marinhos e lagunares. O sistema barra-barreira que ocorre ao sul do município de Laguna é constituído por sedimentos arenosos holocênicos, ao lado deste sistema, isola-se um conjunto de lagunas intercomunicáveis que abrangem uma série de lagos residuais com antigos fundos lagunares. Os ambientes deposicionais encontrados na região são: ilhas barreira, planícies costeiras com cordões litorâneos (strandplains), lagunares e eólicos (Giannini 1993) (Figura 2).

O município de Laguna está inserido na unidade geomorfológica de Planícies litorâneas que correspondem a uma estreita faixa situada na porção oriental do Estado junto ao Oceano Atlântico, no qual existem praias arenosas e dunas que mostram a predominância de processos marinhos e eólicos. (Santa Catarina 1986).

Os principais sistemas fluviais que drenam as Planícies Litorâneas Catarinenses são: Itajaí-açu, Itapocu, Tijucas, Tubarão, e Aranguá. Os sedimentos síltico-argilosos e areias finas quartzosas, resultado da combinação dos processos ligados à dinâmica fluvial e litorânea determinam a componente fundamental das Planícies litorâneas. (Santa Catarina 1986).

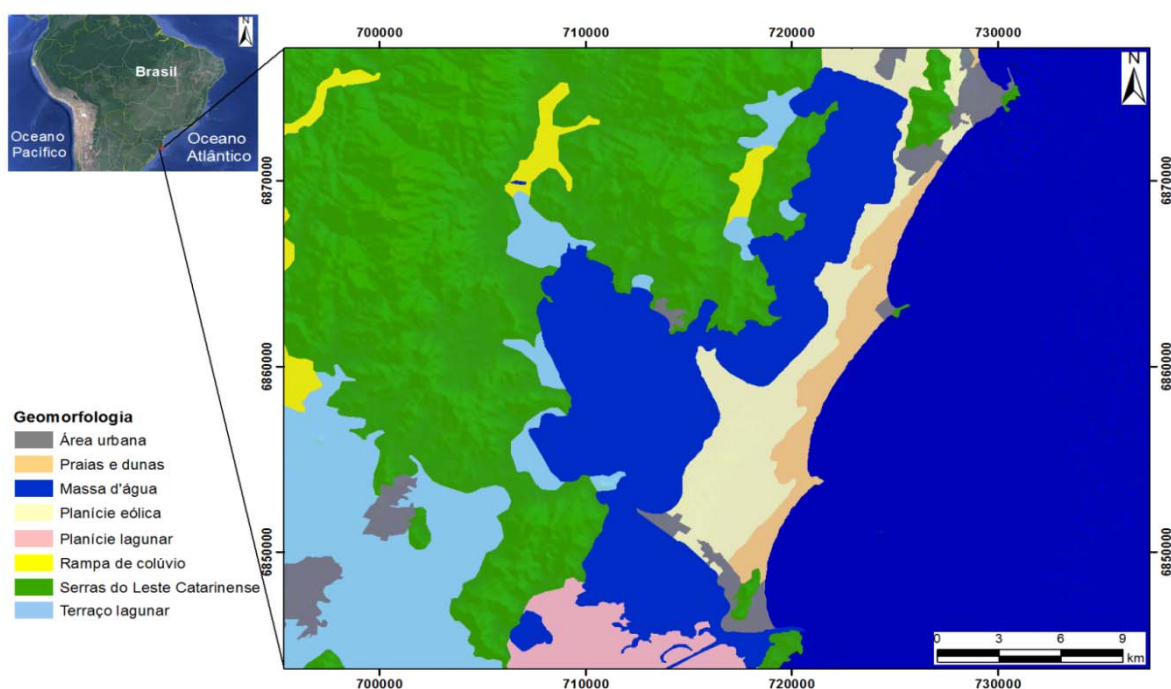


Figura 2- Mapa geomorfológico da área de estudo.

### 1.3 CLIMA

O clima da região é classificado como subtropical úmido sem a presença de períodos secos, apresentando uma média anual de temperatura de 19,5 °C, amplitude termal anual de 8°C (Giannini *et al.* 2007), com temperatura máxima no verão de 30,7 °C e mínima de inverno alcançando 6 °C (INMET 2017). A umidade relativa é de aproximadamente 85 % e a taxa de precipitação anual varia entre 1250 mm (Imbituba) e 1400 mm (Laguna) (Giannini *et al.* 2007).

O Anticiclone Tropical do Atlântico predomina durante o verão e a primavera está relacionada com os ventos alísios do nordeste. No outono e no inverno, o Anticiclone polar migratório é mais ativo, com predominância de ventos vindos do sul para o sudeste, em geral os dias chuvosos estão ligados aos ventos vindos do quadrante sulista (Amaral *et al.* 2013).

### 1.4 VEGETAÇÃO

Originalmente o estado de Santa Catarina estava coberto por quatro regiões fitoecológicas: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Decidual, Savana e vegetação pioneira flúvio marinha (manguezal e restinga), no entanto a maior parte desta vegetação original vem sendo descaracterizada pela ação antrópica desde a colonização, principalmente pela extração de madeira (figura 3) (Santa catarina 1986).

Mais especificamente próximo a região de Laguna, ao redor de lagoas e nas antedunas a vegetação é dominada por plantas herbáceas, enquanto que em outros lugares ocorrem densas florestas arbóreas incluindo árvores com mais de 10 metros de altura. (Amaral *et al.* 2013).

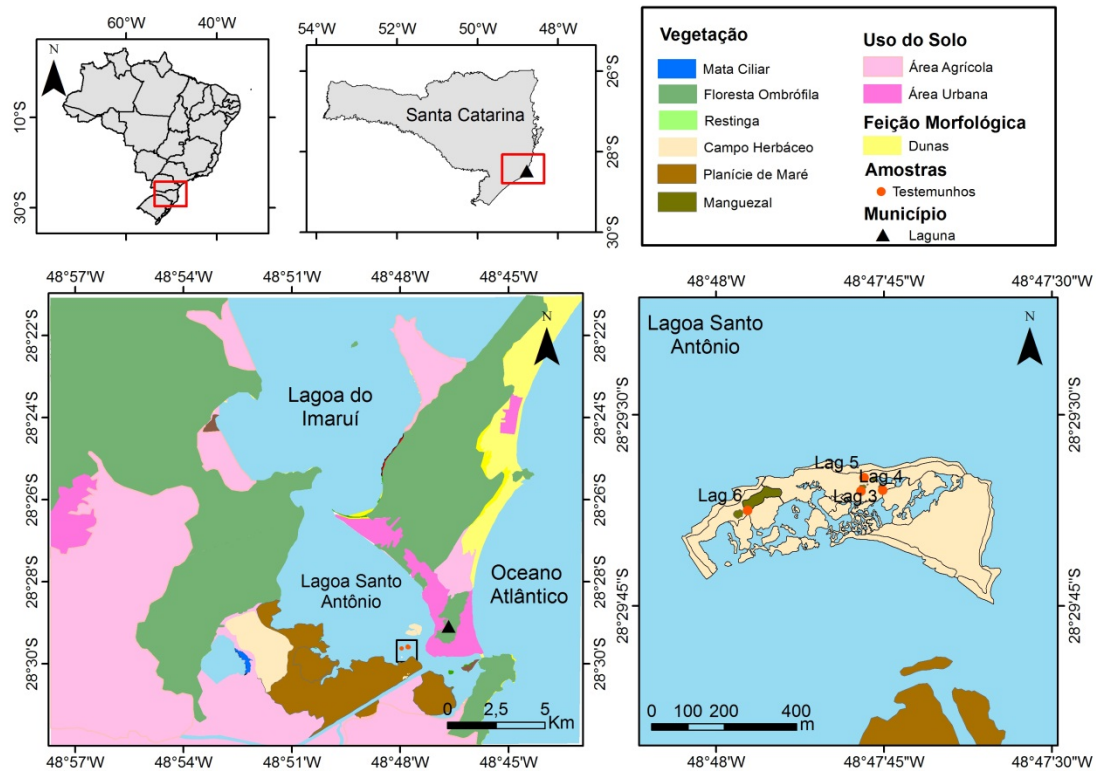


Figura 3: Mapa de vegetação da área de estudo.

Em geral, as florestas de mangue da Laguna de Santo Antônio são bastante homogêneas em termos de desenvolvimento estrutural e composição de espécies. A vegetação no local consiste quase inteiramente de *Laguncularia racemosa*, algumas pontuais *Avicennia schaueriana* além de *Spartina densiflora*, uma espécie de pântano salino e *Acrosticum aurum*, uma pteridófita típica de pântano que vivem associadas às florestas de mangue (Lugo *et al.* 2007, Novelli *et al.* 1990, Soares *et al.* 2012, Tomlinson 1994).

As principais famílias que estão presentes ao redor das lagoas, pântanos e turfeiras são: Lentibulariaceae, Cyperaceae e Poaceae. A floresta baixa é caracterizada por uma alta diversidade de espécies, com um grande número de epífitas, lianas e vários tipos de samambaias, as famílias de árvores dominantes são: Euphorbiaceae, Moraceae, Fabaceae, Malpighiaceae, Aquifoliaceae, Urticaceae e Myrtaceae (Amaral *et al.* 2013).

## 1.5 SOLO

O substrato estudado trata-se de um organossolo que segundo a Embrapa (2013) é definido como “grupamento de solos constituído por material orgânico que apresentam horizonte hístico (com teor de carbono orgânico  $\geq 80$  g kg<sup>-1</sup> de terra fina seca ao ar) de coloração preta, cinzenta muito escura ou amarelada avermelhada, resultantes de acumulação de resíduos vegetais, em graus variáveis de decomposição, em condições de drenagem restrita (ambientes mal a muito mal drenados), ou em ambientes úmidos de altitudes elevadas, saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso”.

Estes solos ocorrem em locais onde o acúmulo de matéria orgânica no solo é favorecido pela inibição da atividade microbiana, devido às baixas condições de oxigenação, temperatura (Ebeling *et al.* 2008).

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 Geral

- Investigar as fases de implantação dos manguezais no litoral de Santa Catarina em uma escala de décadas a séculos para identificar possíveis relações com o aquecimento do ar no litoral de Santa Catarina.

### 1.6.2 Específicos

- Elaborar mapas de geomorfologia e vegetação da Laguna de Santo Antônio.
- Determinar a cronologia dos eventos relacionados principalmente à implantação e desenvolvimento dos manguezais e demais unidades de vegetação associadas.
- Analisar criticamente o modelo de desenvolvimento de manguezais em uma escala decadal e secular segundo o aquecimento do ar ocorrido pós-Revolução Industrial com os mecanismos de implantação de manguezais de acordo com os processos naturais de formação de uma barra arenosa no interior de uma laguna.

## CAPÍTULO 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo foi realizado no município de Laguna localizado no estado de Santa Catarina, sul do Brasil, no mês setembro de 2015. Foram coletados 4 testemunhos de sedimentos (LAG 3, LAG 4, LAG 5 e LAG 6) em uma barra arenosa (figura 1) de aproximadamente 1 metro de profundidade cada, utilizando um trado russo (Cohen & Lara 2003). Os testemunhos foram amostrados do substrato de um manguezal que se desenvolve sobre uma barra arenosa no interior da lagoa de Santo Antônio. Após a coleta os mesmos foram envolvidos em filme PVC e armazenados em refrigeradores a 4°C a fim de evitar contaminação por fungos e bactérias. Também foram feitos levantamentos florístico das principais espécies do local, levantamento das feições geomorfológicas e registro fotográfico da vegetação, bem como coleta de pontos GPS do ponto amostrado.

### 2.2 ANÁLISE DE FÁCIES SEDIMENTARES

Os testemunhos foram transportados até a clínica Raios-X Lobo, em Belém, onde foram realizadas radiografias para posterior identificação das estruturas sedimentares preservadas nas colunas de sedimentos amostradas (figura 4). A descrição estratigráfica foi realizada no Instituto Federal de educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), e esta etapa foi feita com base na observação das estruturas sedimentares, textura e cor dos sedimentos.

Para determinação granulométrica as amostras foram separadas em intervalos de 5 cm, lavadas com água destilada e peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) para remoção da matéria orgânica. Em seguida, as amostras foram levadas para o ultrassom e agitador mecânico a fim de desagregar as partículas de sedimentos. Finalmente, o tamanho dos grãos foi obtido através de um analisador de partículas à laser (Laser Diffraction, SALD 2101-Shimadzu). Os gráficos foram tratados com o software SYSGRAN 3.0 (Camargo 2006).

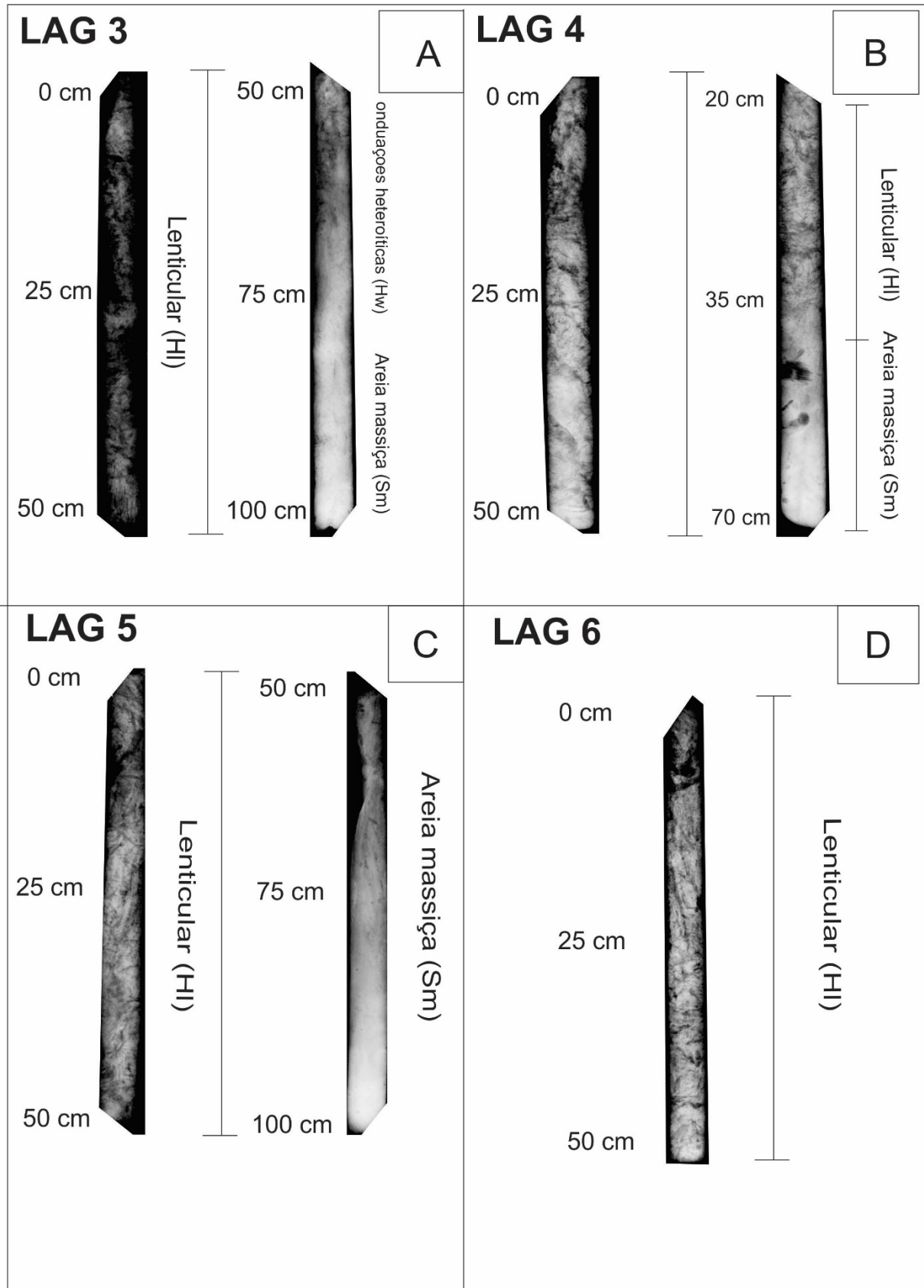


Figura 4: Estruturas sedimentares obtidas através de raio X. A) Testemunho LAG-3 B) Testemunho LAG-4 C) Testemunho LAG-5 D) Testemunho LAG-6.



### 2.3 DATAÇÃO POR $^{14}\text{C}$

Foram coletadas amostras de aproximadamente 5 cm na base de cada testemunho. Foram retirados raízes e fragmentos vegetais com auxílio de uma lupa. Em seguida o material foi tratado com HCl a 2% na temperatura de 60 C° durante 4 horas. As amostras foram lavadas com água destilada até obter pH neutro e então secas a 50°C para remoção de frações orgânicas e carbonatos. A matéria orgânica foi datada através de um Espectrômetro de Massa acoplado a um acelerador de partículas (AMS) no Laboratório de Radiocarbono da Universidade Federal Fluminense (LACUFF) e no Centro de Estudos Aplicados a Isótopos da Universidade da Georgia (UGAMS). As idades  $^{14}\text{C}$  foram apresentadas em idade convencional (anos A.P.) e idade calibrada (cal. anos A.P.) ( $\pm 2\sigma$ ), de acordo com Reimer *et al.* (2009).

### 2.4 DATAÇÃO POR Pb-210

As análises para datação com Pb-210 foram realizadas no Departamento de Petrologia e Metalogenia, no Instituto de Geociências e Ciências da Terra, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP/Rio Claro). As amostras de sedimentos foram analisadas utilizando as atividades de Po-209 (traçador) e Po-210 (natural). Após várias etapas de separação, os isótopos de Po-209 e Po-210 foram removidos por deposição espontânea, e, então, contados usando um sistema de espectrometria alfa. O método do Pb-210 é apropriado para determinar a idade dos sedimentos modernos na faixa de até 100-150 anos de idade. Quantificando as atividades de Pb-210 e Ra-226 nos sedimentos, foi possível determinar o excesso de Pb-210 atmosférico e estimar a idade de deposição, a partir da taxa de sedimentação.

Segundo Sabari (2010), o método de datação por Pb-210 é fundamentado no decaimento radioativo do Pb-210 com a profundidade em uma coluna de sedimentos. Considerando-se que o fornecimento de Pb-210 para um corpo d'água e seu tempo de residência no mesmo sejam razoavelmente constantes, que o Pb-210 “produzido” nos sedimentos está em equilíbrio radioativo com o Ra-226, que a taxa de sedimentação é constante e que não há migração significativa do Pb-210 dentro da coluna sedimentar, então, a concentração de Pb-210 “não-produzido” nos sedimentos decrescerá em função da profundidade devido ao seu decaimento radioativo, de acordo com a expressão:

$$P_{(x)} = P_0 \exp(-\lambda x/V)$$

onde  $P_0$  é a atividade de Pb-210 na superfície da coluna sedimentar no instante  $t=0$ ,  $\lambda$  é a constante de decaimento do Pb-210 ( $0,03114 \text{ anos}^{-1}$ ),  $V$  é a velocidade de sedimentação obtida pelo ajuste exponencial dos dados medidos de Pb-210 e  $P_{(x)}$  a atividade de Pb-210 com a profundidade  $x$ . Para sedimentos sem migração foi desenvolvido um modelo utilizado originalmente para ambientes lacustres e depois para aplicações oceanográficas (Chanton, *et al.* 1989), o qual foi estabelecido com base em suposições referentes às relações entre a mudança da razão da atividade específica do Pb-210 (dpm/g) com o tempo,  $A_s(t)$ , o fluxo (dpm.cm<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>) de Pb-210 “não-produzido” da água para os sedimentos,  $F(t)$ , e a taxa de sedimentação (g.cm<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>),  $R(t)$ , tal que, no instante de deposição dos sedimentos é possível escrever:

---


$$A_s(t) = \frac{F(t)}{R(t)}$$


---

## 2.5 PRÉ-TRATAMENTO DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO PARA ANÁLISE DO $\delta^{15}\text{N}$ , $\delta^{13}\text{C}$ , C ORGÂNICO E N TOTAL

O pré-tratamento das amostras para análise isotópica foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), onde foram coletadas amostras dos 4 testemunhos a cada 5 cm, em seguida as amostras foram secadas em estufa a 50 C° por aproximadamente 48 horas, após essa etapa seguiu-se a pulverização em almofariz de porcelana e armazenadas em tubos “eppendorf”, sucessivamente foram transferidas 20 mg e 50 mg para capsulas de estanho (12mm x 5mm) para pesagem de carbono e nitrogênio respectivamente. A pesagem foi feita em uma balança analítica (Sartorius BP 211D, precisão 0,0001), posteriormente as amostras foram enviadas para o Laboratório de Isótopos Estáveis (CENA/USP) a fim obter os valores de  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , C orgânico e N total através de Espectrômetro de Massas ANCA SL 2020, da Europe Scientific que contém um analisador acoplado.

## 2.6 MÉTODOS PALINOLÓGICOS

### 2.6.1 Processamento das amostras

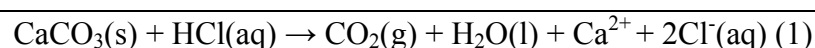
Para análise palinológica os grãos de pólen foram extraídos com uma vasta quantidade de reagentes orgânicos e inorgânicos. Esta separação só é possível porque a parede externa do grão de pólen é extremamente resistente a muitos tratamentos químicos exceto agentes oxidantes. A extração de pólen consiste em dissolver todo material que não seja pólen. Para a separação das amostras foram retirados 1 cm<sup>3</sup> de sedimento a cada 5 cm ao longo dos testemunhos utilizando um medidor de volume de aço inoxidável onde o material é colocado dentro da cavidade cilíndrica e depois retirado por um êmbolo produzindo assim pastilhas de sedimentos.

As pastilhas de sedimentos retiradas do testemunho foram colocadas em tubos de centrífuga, devidamente marcados com a profundidade na qual foi feita a retirada das pastilhas. Esses tubos são obrigatoriamente de polipropileno que é insolúvel ao ataque ácido. Juntamente com as pastilhas de sedimentos serão adicionados tabletes de marcadores exóticos (esporos de *Lycopodium*, para o cálculo da concentração de pólen (grãos/cm<sup>3</sup>) e a razão da acumulação de pólen (grãos/cm<sup>2</sup>/ano). Na contagem final, a razão de esporos marcadores de *Lycopodium* e de pólen contados permite o cálculo da concentração polínica original. Cada tablete é constituído por aproximadamente 10.600 esporos de *Lycopodium* (Stockmar 1971).

Após o término da adição dos esporos foi realizado o tratamento ácido, sendo constituído das seguintes etapas:

### 2.6.2 Tratamento com Ácido Clorídrico (HCl)

Esta etapa do tratamento consiste na remoção do carbonato (CO<sub>3</sub>) presente no material sedimentar e dissolução da matriz carbonática da pastilha de *Lycopodium*, através da adição de HCl a 10%. A reação que ocorre é a seguinte:



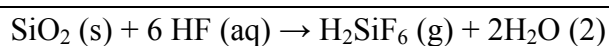
Este processo é seguido por mistura das amostras com a utilização de um bastão-misturador (feito de teflon) para cada tubo de ensaio, evitando assim a contaminação da

amostra. Em seguida, o material foi conduzido à centrífuga onde permaneceu por 5 minutos a 2500 rotações por minuto para separação.

O líquido residual foi retirado e o material lavado com água destilada. Novamente o material retornou à centrífuga com água destilada e em seguida, o líquido residual foi retirado dos tubos para a segunda etapa do tratamento.

### **2.6.3 Tratamento com Ácido Fluorídrico (HF)**

Esta etapa do tratamento consiste na remoção dos silicatos ( $\text{SiO}_2$ ) presente no material sedimentar, através da adição de HF na amostra. A reação que ocorre é a seguinte:



Terminado este período o material segue para lavagem, centrifugação, retirada do líquido residual, adição de HF e repouso por mais 24h, onde após este tempo foi realizada nova lavagem, centrifugação, retirada do líquido residual, e preparação para a terceira etapa do tratamento.

### **2.6.4 Tratamento com Ácido Acético Glacial ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ )**

O Ácido Acético Glacial reage com a amostra retirando a água nela presente. A acetólise é uma reação muito importante para que não ocorra desperdício de ácido sulfúrico através da reação com a água presente nas paredes do tubo de ensaio ou no sedimento umedecido.

Desta forma, foi adicionado  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$  à amostra, seguido de mistura, centrifugação, e retirada do líquido residual, não tendo sido necessária a permanência do ácido por um período de tempo maior que 30 minutos nos tubos de ensaio.

### **2.6.5 Tratamento com Acetólise**

Esta etapa do procedimento químico remove celulose e polissacarídeos das amostras por oxidação. A substância atuante nesta etapa é a Acetólise 9:1 (9 partes de anidrido acético: 1 parte de ácido sulfúrico) (Hesse & Waha 1989). Cerca de 15 ml desta solução foi adicionada às amostras. Os tubos de ensaios foram submetidos a aquecimento em banho-maria e foram

constantemente misturados por um período que variou de 10 a 20 minutos até que o líquido contido nos tubos ficasse escuro. Após esse processo foi realizada a centrifugação, retirada do líquido residual e duas lavagens, sendo que devem permanecer nos tubos cerca de 5 ml de água no intuito de facilitar a transferência das amostras dos tubos de ensaio para tubos Eppendorf.

## 2.7 PREPARAÇÃO DE LÂMINAS PARA MICROSCOPIA

Para montagem no material que foi analisado no microscópio foram utilizadas lâminas, lamínulas, glicerina, pipetas, bastões de teflon e esmalte incolor. Algumas gotas do material armazenado em Eppendorf foram transferidas para as lâminas anteriormente identificadas com auxílio de pipetas, em seguida foi adicionada uma pequena quantidade de gelatina glicerinada. Na sequência lamínulas foram colocadas sobre o material na lâmina e um esmalte incolor foi utilizado para lacrar as margens da lamínula evitando assim a oxidação do material.

## 2.8 ANÁLISE MICROSCÓPICA E CONFECÇÃO DE GRÁFICOS POLÍNICOS

A fase de identificação e contagem dos grãos de pólen das lâminas foi executada no laboratório de dinâmicas costeiras (LADIC) (figura 5), em um microscópio Carl Zeiss Axioskop 2 plus com câmera acoplada, o qual é conectado ao computador. Através do Software AxioVision as microimagens serão processadas, e os grãos de pólen catalogados e armazenados em um banco de dados.

Os dados da contagem dos grãos de pólen foram introduzidos no programa TiliaGraph para confecção dos diagramas e análise estatística (Grimm 1987).

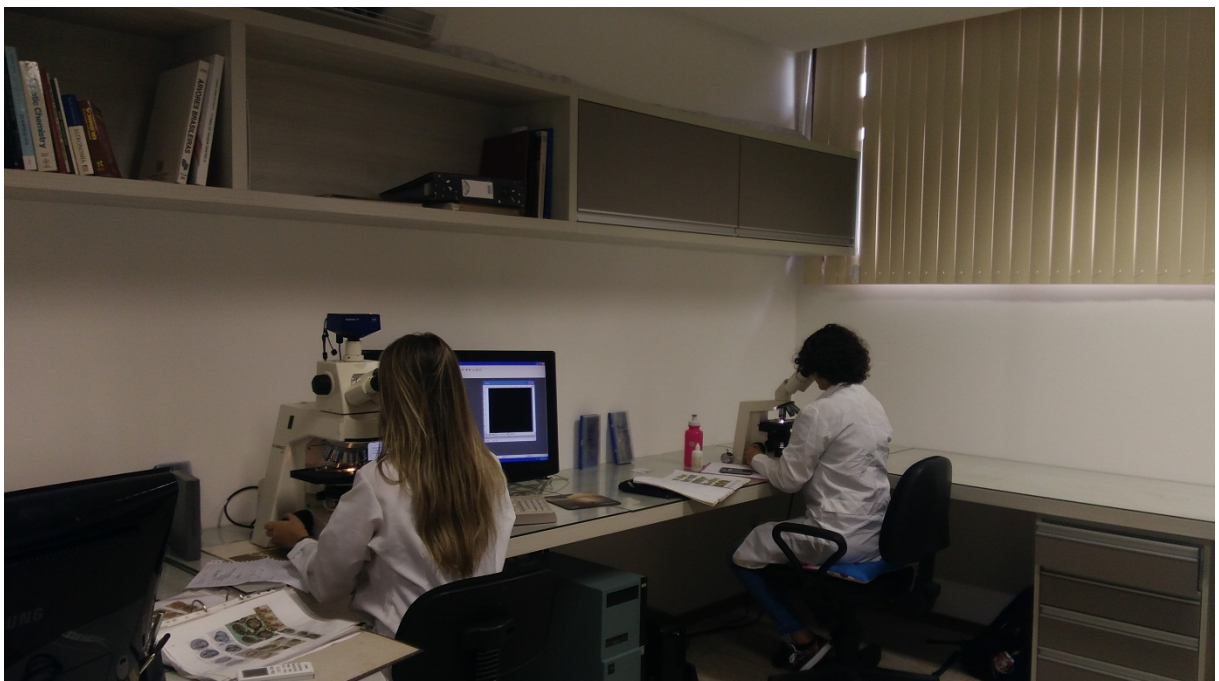


Figura 5: Identificação e contagem de grãos de pólen

## CAPÍTULO 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo visa destacar os fundamentos conceituais básicos dos métodos e técnicas utilizados, tais como palinologia, datação por  $^{14}\text{C}$ , datação por Pb-210 e ciclos fotossintéticos, ferramentas amplamente utilizadas no estudo de reconstituição ambiental. Assim como discorrer sobre a elevação do nível do mar e aumento de temperatura do ar, fatores climáticos e sedimentares que influenciaram na dinâmica da vegetação do litoral de Santa Catarina.

### 3.1 PALINOLOGIA

A palinologia é a ciência que estuda os palinomorfos, neste grupo estão incluídos os grãos de pólen das angiospermas e gimnospermas, esporos de pteridófitas, fungos, dinoflagelados e foraminíferos. A sua aplicação em estudos de paleoecologia ocorre através da análise de sedimentos que foram depositados em camadas sucessivas (Lima & Barberi 2005, Salgado 2007).

Os grãos de pólen possuem um envoltório chamado exina, que é constituído pelo polímero esporopolenina, responsável por conferir resistência química ao grão de pólen, além de elasticidade, ornamentação e outras configurações morfológicas que permitem a identificação da planta que gerou o grão de pólen ou o esporo. Esses caracteres, associados ao fato de os grãos de pólen serem produzidos em grande quantidade, possibilitam os estudos em palinologia e em reconstrução paleoambiental (Salgado 2007, 1984).

Estudos palinológicos estão entre os métodos mais utilizados para desenvolver modelos paleoclimáticos no Quaternário, especialmente quando acompanhados de datação absoluta pelo método de radiocarbono, além de dados isotópicos de C e N. Através da análise dos *taxa* modernos e suas relações ecológicas, pode-se fazer comparações com assembleia de fósseis permitindo avaliar mudanças que ocorreram ao longo do tempo, principalmente as do Quaternário, pois estas não apresentaram extinções significativas da vegetação nesse período (Hooghiemstra 1984).

A reconstituição paleoclimática e paleoambiental através de métodos palinológicos é possível devido às características morfológicas dos grãos de pólen que permitem a determinação da família, gênero e algumas vezes espécie. Os grãos de pólen são produzidos em grande quantidade e possuem enorme capacidade de dispersão pelo vento, água, insetos e

aves, eles são bastante resistentes à degradação em diversos ambientes sedimentares e refletem a vegetação do tempo de deposição do pólen (Bradley 2014).

### 3.2 CICLOS FOTOSSINTÉTICOS C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> E CAM

Os isótopos estáveis ocorrem naturalmente na atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera. É demonstrado e aceito que as composições isotópicas das plantas apresentam diferenças em relação à composição isotópica e assim poderia ser utilizada para definir o ciclo fotossintético da qual a planta pertence, sendo eles C<sub>3</sub> (árvores), C<sub>4</sub> (gramíneas) e CAM (orquídeas) (Pessenda *et al.* 2005).

A fotossíntese é composta por duas etapas: (i) etapa dependente da luz que se refere à fase em que a energia luminosa é convertida em energia química através de pigmentos fotossintetizantes como a clorofila e (ii) etapa não dependente da luz em que a energia da etapa anterior é utilizada para redução do carbono e ligação deste em uma molécula orgânica. A classificação das plantas C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> ou CAM se refere às características fisiológicas e bioquímicas da etapa não dependente da luz (Raven *et al.* 1996).

Aproximadamente 85% das espécies terrestres possuem ciclo fotossintetizante C<sub>3</sub> e dominam a maioria dos ecossistemas, desde florestas tropicais até boreais. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  das plantas C<sub>3</sub> variam de -22 a -32% com média de -27%, enquanto que as plantas C<sub>4</sub> os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  variam de -9 a -17% com uma média de -13%. As plantas C<sub>4</sub> representam a minoria das plantas correspondendo a 5% do total de espécies, elas ocorrem em 18 famílias, metade das quais são espécies de gramíneas tropicais e subtropicais que cobrem extensas áreas de savanas, campos e pântanos salinos. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  das plantas CAM variam de -10 a -28%, elas e estão distribuídas em 30 famílias, tais como Crassulaceae, Euphorbiaceae, Orchidaceae, Bromeliaceae e Cactaceae (Boutton & Yamasaki 1996) (figura 6).

Todas as plantas utilizam o ciclo de Kelvin para fixação do carbono presente no CO<sub>2</sub>, este ciclo faz uso da enzima Rubisco para catalisar reações, entretanto, as plantas C<sub>3</sub> utilizam apenas esse ciclo. As plantas C<sub>4</sub> utilizam tanto o ciclo de Kelvin quanto a via Hatch-Slack que utiliza a enzima PEP-carboxilase para redução e fixação do carbono orgânico em moléculas orgânicas (Raven *et al.* 1996).

As plantas CAM, bem como as plantas C<sub>4</sub> utilizam tanto a via Hatch-Lack como o ciclo de Kelvin, porém a fixação do carbono PEP-carboxilase ocorre apenas na ausência da luz, pois durante a noite os estômatos abrem e permitem a entrada do CO<sub>2</sub> e fixação pela PEP-

carboxilase, no período em que a luz a fixação ocorre pela enzima Rubisco (Raven *et al.* 1996).

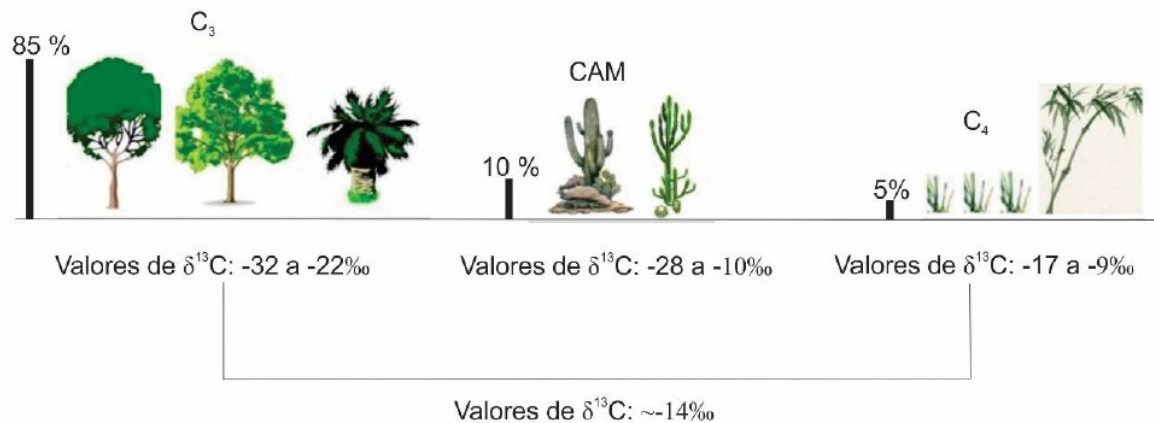


Figura 6: valores isotópicos característicos de plantas de ciclo fotossintético C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> e CAM  
Fonte: Modificado de França 2010.

### 3.3 RAZÃO C/N

A razão C/N também é uma importante ferramenta utilizada em estudos paleoambientais porque são capazes de determinar a origem da matéria orgânica preservada nos sedimentos a qual podem indicar duas principais origens como aquática (fitoplankton marinho ou de água doce) ou terrestre (plantas vasculares) (C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>) (Wilson *et al.* 2005).

O C/N da matéria orgânica de origem fitoplanctônica pode variar de 4 a 10 enquanto que os terrestres vasculares podem ser maiores ou iguais a 20. É possível distinguir a origem do material sedimentar quando comparados aos dados isotópicos do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) (figura 7) (Meyers 1994).



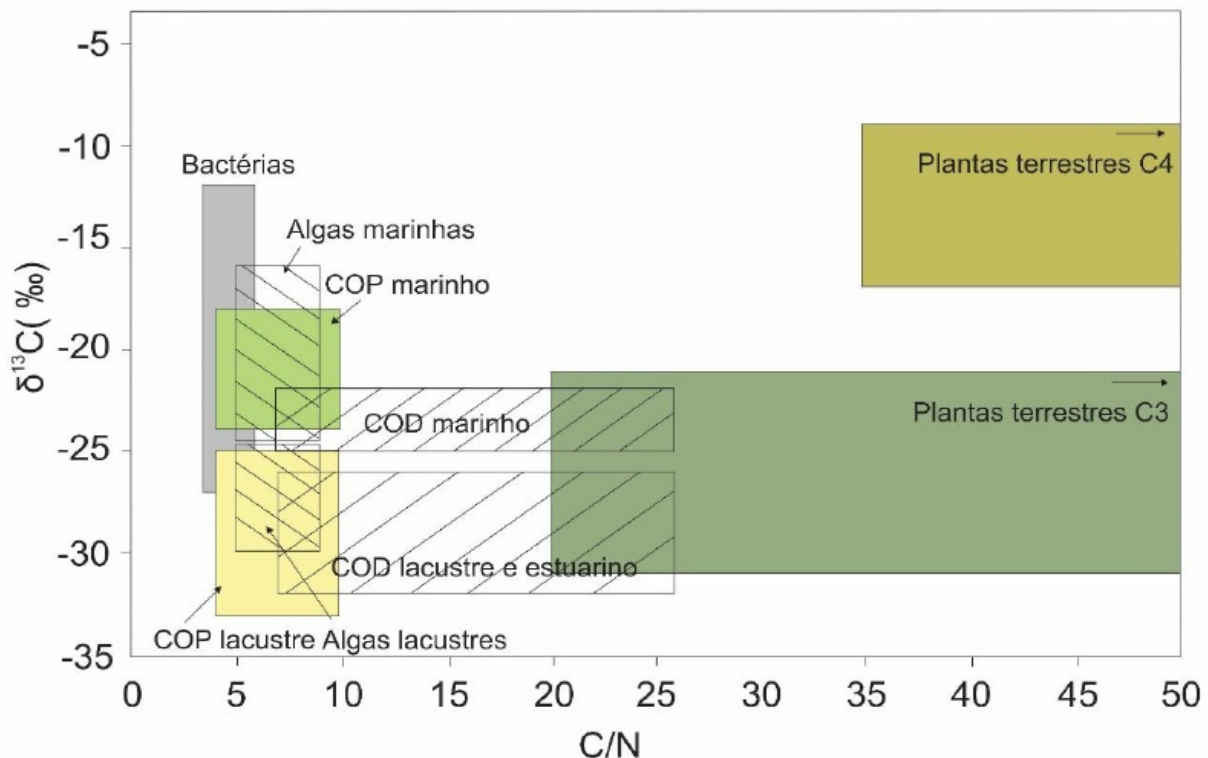


Figura 7: Valores de  $C^{13}$  e C/N das fontes de matéria orgânica sedimentar terrestre e marinha. Modificado de Lamb *et al.* 2006; Meyers 2003; Wilson *et al.* 2005.

### 3.4 DATAÇÃO $^{14}C$

A Terra é atingida frequentemente por raios cósmicos que são constituídos de prótons de alta energia, de partículas  $\alpha$  e uma pequena fração de outros núcleos pesados. Essas partículas interagem com outros átomos presentes na estratosfera produzindo partículas de menor energia ocasionando a termalização de nêutrons secundários. Através da interação desses nêutrons secundários com o  $^{14}N$  presente na atmosfera ocorre a formação do  $^{14}C$  (Libby 1949).

O  $^{14}C$  é então oxidado a  $^{14}CO_2$ , essa oxidação é rápida e por meio da movimentação atmosférica ele é distribuído nos demais reservatórios naturais como os oceanos e a biosfera, permanecendo aí até a sua incorporação e assimilação (Libby *et al.* 1949).

As plantas assimilam o  $^{14}C$  presente na atmosfera via fotossíntese formando compostos orgânicos, os animais ao se alimentarem das plantas, incorporando o radionucléido. Durante a vida do organismo, há um equilíbrio entre a atividade específica do  $^{14}C$  em relação a do ambiente, sendo a relação  $^{14}C/^{12}C$  de todos os seres vivos, em todas as latitudes e longitudes é observada na mesma proporção. A assimilação é constante durante a vida do organismo devido à contínua absorção de  $CO_2$  pelas plantas (Libby *et al.* 1949).

Quando o organismo morre e o equilíbrio é rompido ocorre apenas a desintegração do  $^{14}\text{C}$  que decai em taxa constante, então após a morte do organismo o  $^{14}\text{C}$  desintegra-se com meia vida de  $5730 \pm 30$  anos, emitindo uma partícula  $\beta$  dando origem novamente ao  $^{14}\text{N}$ . Estimou-se que o  $^{14}\text{C}$  estaria presente nas amostras entre  $\cong 50000$  e  $60000$  ou após dez meias vidas (figura 8) (Libby *et al.* 1949).

Nos anos de 1950 a 1960 os Estados Unidos e união soviética realizaram testes nucleares que aumentaram significativamente a quantidade de  $^{14}\text{C}$  na atmosfera. Em 1963 a concentração do radionucleídeo havia dobrado em relação ao período que antecedeu os testes nucleares, em decorrência disso as idades obtidas pela datação por  $^{14}\text{C}$  consideram o ano de 1950 como o presente (Broecker 2003).

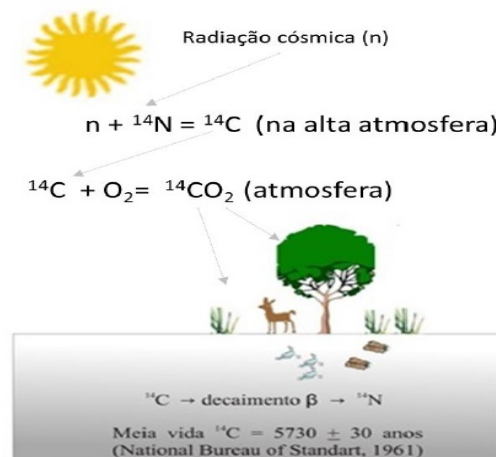


Figura 8: Formação natural do  $^{14}\text{C}$  na estratosfera, sua incorporação pelas plantas e animais e decaimento radioativo após a sua morte.

Fonte: Modificado de França 2010.

### 3.5 Pb-210

O chumbo é um elemento químico do grupo dos metais. É maleável e possui baixa condutividade elétrica, sendo muito resistente à corrosão. Seu número atômico é 82 com símbolo químico Pb derivado do latim *plubum*. Possui inúmeras aplicações, sendo um dos metais mais utilizados no mundo. Os egípcios utilizavam o chumbo desde 5000 a.C para forjar moedas e fabricar cosméticos. Os gregos exploravam as jazidas de chumbo no quinto

século a.C e os romanos fabricavam canos de chumbo no século III a.C. Na idade média o chumbo era usado para armar os vitrais das igrejas, era também usado em calhas, escoadouros, encanamentos e nos tetos das catedrais mosteiros e castelos. O chumbo também foi utilizado nas guerras para produção de balas de canhão e outros projéteis (Audersik 1985).

Existem quatro isótopos estáveis de chumbo de ocorrência natural: Pb-204 (1,4%), Pb-206 (24,1%), Pb-207 (22,1%) e Pb-208 (52,4%). O Pb-206, Pb-207 e Pb-208 são produtos finais de uma complexa cadeia de decaimento que se inicia com o U-238, U-235 e Th-232, respectivamente.

O chumbo apresenta alguns isótopos radioativos presentes em todas as séries radioativas naturais, são eles:  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{211}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Pb}$  e  $^{214}\text{Pb}$ . O  $^{210}\text{Pb}$  apresenta a maior meia-vida, 22,6 anos, por isso é considerado um importante traçador geocronológico, permitindo a datação em sedimentos recentes (100 a 150 anos) (Sabaris 2010).

O método de datação de Pb-210 tem aplicação na medida da taxa de acumulação de sedimentos no meio ambiente (Koide *et al.* 1973; Krishnawami *et al.* 1980; Sharma *et al.* 1971), assim como estudos de comportamento de aerossóis na atmosfera (Tukerian *et al.* 1983).

A concentração de Pb-210 na atmosfera depende principalmente da presença de Rn-222 e da distribuição latitudinal dos continentes e oceanos pois a concentração de Pb-210 atmosférico e seu fluxo variam com a latitude. O fluxo é influenciado pela fisiografia do local e por fatores meteorológicos regionais (Appleby & Oldfield 1983).

O Pb-210 é retirado da atmosfera através da chuva, entrando assim em lagos e reservatórios ou pelo escoamento superficial na bacia hidrográfica variando seu tempo de residência de 9,6 dias a algumas semanas (Francis *et al.* 1970).

Quando o Pb-210 entra em um lago ou oceano, ele é depositado no fundo por processos de sedimentação ou de trocas químicas, juntando-se às camadas de sedimentos. Portanto, além de existirem o Pb-210 originado da atmosfera, há também o Pb-210 no sedimento originado pelo decaimento de Ra-226. O Pb-210 originado na atmosfera e presente no sedimento é denominado de Pb-210 não produzido, enquanto que o Pb-210 resultante do decaimento de Ra-226 no próprio sedimento é chamado de Pb-210 produzido (figura 9) (Benninger *et al.* 1975; Evans & Rigler 1980).

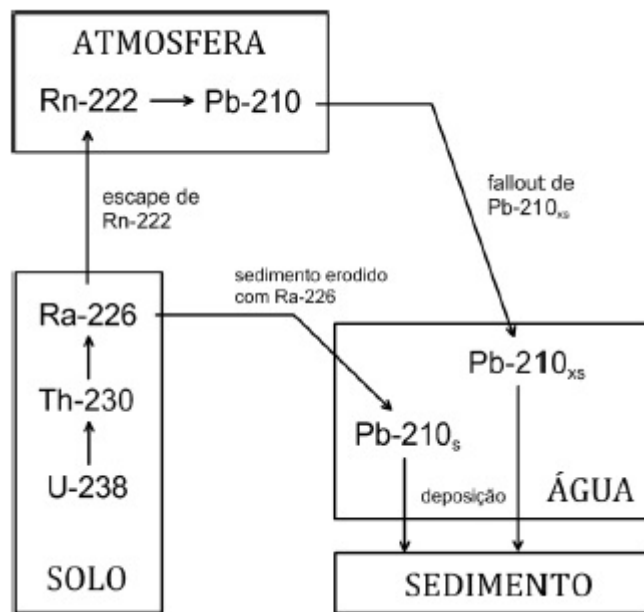


Figura 9: Ciclo biogeoquímico do Pb-210, onde Pb-210<sub>xs</sub> é o não produzido e o Pb-210<sub>s</sub> é o produzido.  
 Fonte: Modificado de Ferreira *et al.* 2015.

### 3.6 FLUTUAÇÕES DO NÍVEL RELATIVO DO MAR DURANTE OS ÚLTIMOS MIL ANOS NO MUNDO

Há algumas décadas, as paleolinhas de regiões consideradas estáveis, como por exemplo as do Brasil, eram interpretadas como registro de variações de nível oceânico mundial (absoluto). Entretanto, muitas pesquisas realizadas demonstraram que é impossível determinar uma curva eustática mundial para o Holoceno. Atualmente existe um senso comum de que as curvas do nível do mar só podem ser determinadas local ou regionalmente (Suguio *et al.* 1985).

A temperatura média global tem subido nos últimos cem anos, e isto está provocando um aumento no derretimento das geleiras, o que faz aumentar a quantidade das águas nos oceanos e dilatação das mesmas, trazendo como consequência a elevação do nível dos mares em diversas partes do planeta Terra (Sampaio *et al.* 2003).

O “Intergovernmental Panel on Climate Change” (IPCC) constatou que grande parte do aporte recente de água para as bacias oceânicas tem origem principalmente das geleiras alpinas, dos campos de gelo das regiões temperadas e subpolares e do gelo flutuante do mar ártico. Ainda segundo o (IPCC), entre os anos de 1940 e 1990 a cobertura de gelo do oceano Ártico teve diminuição de 40% em sua área de acordo com imagens de satélites obtidas

durante a segunda guerra mundial até os dias atuais. Entre os anos de 1900 e 1961 a temperatura global aumentou  $0,5C^{\circ}$  o que levou ao derretimento das geleiras e contribuiu para a elevação do nível relativo do mar (NRM) em 2,8 cm enquanto que durante a pequena idade do gelo (século XV) as geleiras tiveram grande avanço por conta da diminuição nas temperaturas globais em  $0,5C^{\circ}$  deixando o nível do mar mais baixo do que o atual (Sampaio *et al.* 2003).

Os trabalhos do (IPCC) indicam que no século XX a temperatura média global aumentou em  $0,6C^{\circ}$  e o aumento do NRM foi de 100 mm a 200 mm entre 1990 e 2001. Corroborando com Gornitz *et al.* (1987) que indicam uma elevação do NRM de 150mm a 170 mm entre os anos de 1980 e 1987. Entretanto, em áreas do Hemisfério Sul, especialmente sobre os oceanos e Antártica não tem ocorrido grandes mudanças, por exemplo nenhuma mudança significativa tem sido observada no manto de gelo desde 1978. Por outro lado o desprendimento das placas de gelo da Antártica a partir de 1995 fez com que essas placas se desintegrassem por causa de um aumento na temperatura de  $2,5C^{\circ}$  que começou a ser observado há 45 anos nesta região (Trabanco *et al.* 2001).

Já na costa de Portugal a subida do nível do mar agravada pelo efeito estufa durante o final do século XX, apresentou uma taxa de aumento de 1,5 mm ao ano. Esta taxa embora pequena tem contribuído para contrariar a força de vazante na foz dos rios provocando o aumento da sedimentação nos estuários e reduzindo, simultaneamente, as exportações de materiais para o oceano, favorecendo assim a erosão crescente manifestada na faixa costeira ocidental do país (Reis 2002).

No Brasil, muitas praias vêm sofrendo erosão por causa da intervenção antrópica tais como: obras de enrocamento sobre o perfil da praia, retirada clandestina de areia e retenção de areia nos rios provocado pela construção de barragens. Mas também há muitas praias que estão sendo erodidas permanentemente sem nenhum indicativo de influência antrópica, como ocorre por exemplo, em algumas praias de Ilha Grande (RJ), no Paraná, em Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Nessas a áreas a erosão contínua pode ter razões naturais diversas (Addad 1997).

Porém, na região nordeste é possível observar mais facilmente a transgressão marinha porque muitas falésias estão recuando progressivamente, o que indica erosão contínua, como por exemplo: na praia de Pipa (RN), Ponta Grossa (CE), Praia do Carro Quebrado (AL), e Tambaba (PB). Essa transgressão marinha pode ser explicada por outras hipóteses como

subsidência do terreno na faixa costeira por conta dos espessos depósitos de sedimentos do Grupo Barreiras, ou são provocadas por deslocamento de barras e canais de maré (Noemberg 2000).

O litoral brasileiro é muito extenso e comporta muitas praias e cada uma apresenta um comportamento muito distinto e dinâmico, pois são vários os fatores que influenciam como: declividade da plataforma continental das áreas adjacente, disponibilidade e tamanho dos sedimentos, comportamento das ondas, direção dos ventos e das ondas, exposição da praias às ondas de tempestade, características das correntes marinhas locais e influência das descargas de água e sedimentos dos rios próximos, além de fatores antrópicos (Faria 2005).

O resultado é que muitas praias do litoral brasileiro estão sendo erodidas enquanto outras estão estáveis e outras estão em crescimento, na maioria das vezes encontra-se uma ao lado da outra. Caso o nível do mar esteja subindo, provavelmente todas as praias brasileiras deveriam se tornar erosivas por conta da transgressão marinha, mas isso não está ocorrendo. As praias que estão sendo erodidas têm como causa tantos fatores naturais como antrópicos, mas não indicam uma transgressão marinha geral, se o nível do mar estiver realmente subindo os efeitos ainda não são visíveis na costa brasileira (Faria 2005).

Estudos sobre o comportamento do NRM no sul do Brasil nos últimos 2000 anos revelam que há duas tendências: uma queda nos estados do Paraná e Santa Catarina e um aumento do nível do mar no estado do Rio Grande do Sul. Para este mesmo período Suguio *et al.* (1985) e Angulo *et al.* (1992) sugerem um declínio suave no NRM enquanto que Tomazelli (1990) sugere uma queda abrupta de no mínimo -1m a cerca de 1000 anos AP seguido de uma subida. Essa variação na oscilação NRM nos últimos 2000 anos pode ser atribuída a diferenças reais no comportamento NRM regional ou à má interpretação dos indicadores do nível paleomarinho (Angulo & Giannini 1997).

### 3.8 A ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DA ATMOSFERA NO MUNDO DURANTE OS ÚLTIMOS 100 ANOS

A Terra permanece habitável por causa da distância da Terra em relação ao sol permitindo que o planeta tenha luz e calor em quantidades ideais para a vida, devido principalmente a presença de vapor d'água e dióxido de carbono na atmosfera da Terra. Esses

gases absorvem e emitem radiação termal aumentando a temperatura média global de  $-18^{\circ}\text{C}$  para  $15^{\circ}\text{C}$ . Essa absorção ocorre por causa da excitação vibracional das moléculas de gases estufa (Hoegh & Bruno 2010).

Na atmosfera da Terra, há um processo físico que ocorre quando parte da radiação infravermelha é emitida pela superfície terrestre e absorvida por determinados gases presentes na atmosfera, como consequência disso, parte do calor é irradiado de volta para a superfície, não sendo liberado para o espaço, este fenômeno é conhecido como efeito estufa. Este processo dentro de uma determinada faixa é vital, pois serve para manter o planeta aquecido e, assim, garantir a manutenção da vida (Hoegh & Bruno 2010).

Porém, a concentração de muitos gases estufa na atmosfera, incluindo o dióxido de carbono, ozônio, metano e óxido nitroso tem aumentado nas últimas décadas, após a revolução industrial e da expansão da atividade agrícola. E ainda, nas últimas duas décadas o clorofluorcarboneto (CFCs) tem sido adicionado na atmosfera, embora estejam presentes em pequenas quantidades, eles aprisionam muito mais radiação termal do que o dióxido de carbono (Mitchell 1989).

A superfície da Terra tem sido sucessivamente mais quente durante as três últimas décadas do que as que antecederam o ano de 1850. O período entre 1983 e 2012 foi provavelmente o mais quente dos últimos 1400 anos no Hemisfério Norte, onde esta avaliação é possível. A temperatura global da superfície terrestre e oceânica combinadas mostram um aumento de  $1.6^{\circ}\text{C}$  ao longo dos anos de 1980 até 2012 (figura 10) (IPCC, 2014). Este aumento de temperatura nas últimas décadas corresponde ao elevado consumo de combustíveis fósseis durante este período. O ano de 1998 foi o mais quente do século XX, desde o início das observações meteorológicas em 1861, com  $+0.54^{\circ}\text{C}$  acima da média histórica de 1961-1990. Considerando o intervalo entre 1760 e os primeiros anos do século XXI, os níveis de  $\text{CO}_2$  na atmosfera aumentaram de 277 ppm para aproximadamente 390 ppm. (Marengo 2007).

Algumas consequências do aquecimento global têm sido notadas, como por exemplo o derretimento das geleiras, o aumento de quase 20 cm do nível do mar em um século, e a tendência de aquecimento especialmente nas temperaturas mínimas de inverno. Os modelos globais de clima projetam para o futuro possíveis mudanças em extremos climáticos, como ondas de calor, ondas de frio, chuvas intensas, enchentes, secas, furacões, ciclones tropicais e extratropicais mais intensos e com maior frequência. Exemplos podem ser notados anualmente: As enchentes e ondas de calor da Europa em 2002 e 2003, os furacões no

Atlântico Tropical Norte em 2005 (Katrina, Rita, Wilma), as secas no Sudeste do Brasil em 2001, no Sul em 2004, 2005 e 2006, e na Amazônia em 2005. Além das variabilidades naturais do clima, estes fenômenos também têm sido correlacionados com desmatamento, urbanização, aquecimento global, aumento da concentração de gases do efeito estufa e aerossóis na atmosfera (Marengo 2007).

Estudos sobre as tendências de temperatura do ar têm sido desenvolvidos em vários países da América do Sul mostrando a tendência de aquecimento em algumas cidades durante os últimos cem anos:  $+0.12^{\circ}\text{C}$  em Quito (Equador) e  $+0.60^{\circ}\text{C}$  em São Paulo (Brasil). Na bacia Amazônica, Marengo (2003) estimou o aquecimento na ordem de  $+0.85^{\circ}\text{C}/100$  anos. O aquecimento do ar pode variar de uma região para outra, e essas mudanças podem ser de fato ocasionadas por fatores naturais de clima, ou a fatores antropogênicos como, por exemplo, as ilhas de calor, o efeito da urbanização nas grandes cidades, ou pode haver uma combinação de fatores naturais e antropogênicos. As maiores taxas de aquecimentos podem ser observadas nas grandes cidades do sudoeste do Brasil em comparação com cidades da Amazônia como Manaus e Cuiabá (Marengo 2007).

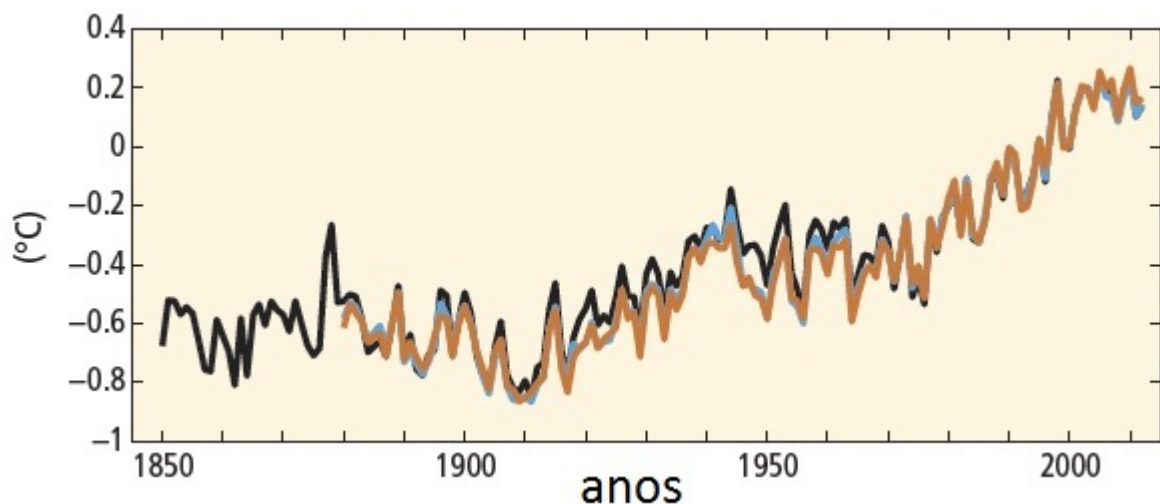


Figura10: Média da temperatura global da superfície terrestre e oceânica. As cores indicam diferentes conjuntos de dados.  
Fonte: IPCC, 2014.



### 3.7 FORMAÇÃO DE BARRAS ARENOSAS

Existem vários critérios para diferenciar barras de ilhas, sendo comumente utilizado o termo nível de margens plenas como limite para diferenciação entre elas. As ilhas são feições que estão acima do limite de margens plenas enquanto que as barras são depósitos onde a altura é inferior ao nível, independentemente de suas características morfológicas ou do tipo de vegetação (Bridge 2002).

O termo barra arenosa se refere desde a uma simples feição deposicional até complexas formas derivadas de múltiplos processos erosivos e deposicionais que possuem taxa de migração que podem variar de dias a horas, meses ou anos dependendo das condições climáticas, topográficas e hidrológicas (Smith 2014).

De acordo com Smith (2014), as barras arenosas são classificadas conforme sua morfologia, podendo ser: Barras longitudinais, Transversais, de Pontal, ou Diagonais. As Barras longitudinais apresentam formas alongadas, formam-se em trechos rasos e retilíneos e sua morfologia é decorrente da ação dos processos erosivos mais do que da ação deposicional do fluxo. Sua origem estaria relacionada à acumulação de sedimentos sobre depósitos residuais de canal.

As Barras Transversais são formas deposicionais retilíneas, lombadas ou sinuosas, localizadas perpendicularmente ao fluxo. Com baixo mergulho a montante e uma face de avalanche bem desenvolvida à jusante.

As Barras de Pontal desenvolvem-se nas margens convexas dos rios meandantes e se desenvolve por acresção lateral, formando uma ponta transversal ao canal. Sua constituição varia de cascalho a areia muito fina, dependendo da energia do material transportado pelo canal. A constante migração lateral do canal meandrante permite a formação de uma série de formas em meia-lua construídas pelo avanço da barra de pontal de espirais de meandro que são características de uma planície de inundação de um sistema de meandros livres.

### 3.9 CARACTERÍSTICAS DE LAGUNAS COSTEIRAS

As lagunas costeiras são definidas como um corpo de água, geralmente orientadas paralelas à costa separadas do oceano por uma barreira e conectadas ao oceano por um ou mais “inlets”. Elas possuem profundidade que raramente excedem alguns metros, podendo estar ou não sujeitas à mistura de maré e sua salinidade pode variar desde quantidades de sal

características de um lago de água doce até uma laguna hipersalina, dependendo do balanço hidrológico (Kjerfve & Magill 1989).

A origem das lagunas se deve principalmente a subida do nível do mar durante o Holoceno e a construção de barreiras por processos marinhos e costeiros. A combinação de processos costeiros e fluviais causaram a captura e preenchimento do sistema costeiro, bem como o remodelamento de limites marítimos (Meade 1969).

Geralmente, as lagunas costeiras atuam como uma rede de materiais de fundo, embora sistemas maduros possam servir como fonte de matéria orgânica para o oceano adjacente. As lagunas estão frequentemente sujeitas a rápida sedimentação e irão evoluir para outro tipo de ambiente sedimentar através do preenchimento de sedimentos, atividade tectônica, mudanças eustáticas no nível do mar ou atividades do uso da terra. A escala de tempo em que essa transição ocorre é considerada rápida em termos de escala geológica e podem ocorrer dentro de séculos ou décadas (Kjerfve & Magill 1989).

Kjerfve (1986) subdividiu as lagunas costeiras em três tipos geomorfológicos sendo estas: sufocadas (choked), restritas (restricted) e vazadas (leaky) (figura 11). As lagunas sufocadas são geralmente encontradas ao longo de costas com elevada energia de ondas e expressiva deriva litorânea. Elas são caracterizadas pela presença de um ou mais canais longos e estreitos, longos períodos de residência além de força do vento dominante. As lagunas restritas geralmente apresentam duas ou mais entradas de canais (inlets), possuem uma circulação de maré bem definida, são bastante influenciadas pelo vento e são verticalmente misturadas. As lagunas vazadas são encontradas ao longo de costas onde as correntes de maré são mais significativas do que as ondas de vento no transporte de sedimentos. Elas podem se estender por até 100 km em algumas linhas de costa, porém apresentam largura de poucos quilômetros. Elas são caracterizadas por apresentar uma forte corrente de maré, além de uma intensa troca de água com o oceano e uma frente de turbidez e salinidade alta.



Figura 11: As Lagunas costeiras foram subdividas em: a) “choked”, b) “restricted” e c) “leaky”, baseada no grau de troca de água com o oceano adjacente. Fonte: Modificado de (Kjerfve, 1986).

## CAPÍTULO 4 RESULTADOS

### 4.1 DATAÇÃO POR $^{14}\text{C}$ , $^{210}\text{Pb}$ E TAXA DE SEDIMENTAÇÃO

As datações por meio de  $^{14}\text{C}$  mostram que não houve inversão de idades. O cálculo das taxas de sedimentação foi baseado na relação entre intervalos de profundidade e o nível datado (Tabela 1).

As taxas de sedimentação calculadas para o testemunho LAG-3, baseadas nos resultados de  $^{210}\text{Pb}$ , foram: 1,6 mm/ano (100-90 cm), 1,5 mm/ano (90-80 cm), 1,7mm/ano (80-75 cm), 2,2 mm/ano (75-65 cm), 2,7 mm/ano (60-65 cm) e 3,6 mm/ano.

Tabela 1- Datações C-14 dos níveis amostrados.

<b>Laboratório (UGMAS)</b>	<b>Amostra\ Profundidade (cm)</b>	<b><math>^{14}\text{C}</math> idade anos AP</b>	<b>Calibrado (Cal AP)</b>	<b>Média (cal anos AP)</b>
<b>27333</b>	LAG3\55-60cm	361±23	425 - 497	431
<b>26627</b>	LAG5\90-95cm	1019±24	913-971	940

### 4.2 ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES, DESCRIÇÃO POLÍNICA E ISOTÓPICA

Os testemunhos LAG-3, LAG-4, LAG-5 e LAG-6 são caracterizados principalmente pela presença de areia com coloração cinza oliva, granulometria variando de areia grossa a silte com uma pequena quantidade da fração argila. As estruturas encontradas são areia maciça (fácies Sm), acamamento heterolítico lenticular (fácies HI) e acamamento heterolítico ondulado (fácies Hw), além de bioturbações com a presença de fragmentos e marcas de raízes. Ao longo dos quatro perfis é possível observar uma granodecrescência ascentende. Analisando suas estruturas sedimentares e associando aos registros palinológicos e variações isotópicas foi possível estabelecer duas associações de fácies: (A) Barra arenosa e (B) Planície de maré mista. (Tabela 2 e Fig. 12).

#### 4.2.1 Associação de fácies A (Barra arenosa)

Esta associação de fácies está presente na base dos testemunhos Lag 3, 4 e 5, onde a base do Lag 5 foi datada em 913 - 971 cal AP (tabela 1, Figura 16). Esta associação de fácies apresenta depósitos arenosos maciços (fácies Sm), com granulometria variando de média a grossa sem a presença de fragmentos vegetais. A análise polínica permitiu individualizar quatro grupos ecológicos estabelecidos pela presença de ervas, árvores e arbustos, palmeiras e esporos. As ervas estão representadas pelos grãos de Poaceae (0-40%), Asteraceae (0-10%), Apiaceae (0-6%), Cyperaceae (0-10%), Amaranthaceae (0-6,5%), Araceae (0-10%) e Acanthaceae (0-5%). Os grãos de árvores e arbustos são caracterizados pela presença de Malpighiaceae (0-9%), Ericaceae (0-8%), Apocynaceae (0-5%), Euphorbiaceae (0-5%), Cunoniaceae (0-5%), *Podocarpus* (0-2%), Fabaceae (0-5%), *Mimosa* (0-7%), Moraceae (0-6%), Myrtaceae (0-8%), Rubiaceae (0-2%), Melastomataceae\Combretaceae (0-5%), Anacardiaceae (0-5%) e *Matayba* (0-10%). O grupo ecológico das palmeiras é representado pelos grãos de Arecaceae (0-11%) e *Mauritia* (0-5%). Os esporos são representados por monoletes (0-35%) e triletes (0-12%) pisilados e verrugados (figuras 12,14,16 e 18).

Os resultados geoquímicos indicam valores de  $\delta^{13}\text{C}$  que variando entre -26 e -14‰ (média -20 ‰), registros de  $\delta^{15}\text{N}$  revelam uma oscilação entre 6 e 9,5‰ (média 7,75 ‰). O C-orgânico, N-total e C/N apresentaram valores entre 0,5 e 2‰ (média 1,25 ‰), 0,01 e 0,15‰ (média 0,08 ‰) e 9 e 25 (média 17), respectivamente, (tabela 2, figuras 13,15 e 19).

Tabela 2- Sumário da associação de fácies, características sedimentares, grãos de pólen e geoquímica dos testemunhos LAG-3, LAG-4, LAG-5 e LAG-6.

Associação de fácies	Descrição de fácies	Predominância de pólen	Dados Geoquímicos	Interpretação
A	Areia maciça (fácies Sm) de granulometria média a grossa	Ervas, árvores e arbustos, palmeiras e esporos	$\delta_{13}C$ : -26 a -14‰ $\delta_{15}N$ : 6 a 9,5‰ C-orgânico: 0,5 a 2‰ N-total: 0,01 a 0,15‰ C/N: 9 a 25	Barra arenosa
	Acamamento heterolítico lenticular (fácies Hl), de coloração cinza oliva e fragmentos vegetais	Ervas, árvores e arbustos, Palmeiras, esporos e manguezal	$\delta_{13}C$ : -24 a -17‰ $\delta_{15}N$ : 4 a 7‰ C-orgânico: 1,2 a 4,5‰ N-total: 0,05 a 0,25‰ C/N: 7 a 29	Planície de maré

#### 4.2.2 Associação de fácies B (Planície de maré)

Esta associação de fácies corresponde ao intervalo de profundidade que vai de 45-60 até 0 cm. Com base nas datações de  $^{210}Pb$ , tais sedimentos têm sido acumulados desde 1938 AD. Esta associação de fácies é caracterizada por acamamento heterolítico lenticular (Hl) e ondulado (Hw) com presença de bioturbações caracterizadas por fragmentos e marcas de raízes.

Nesta associação de fácies foi possível estabelecer cinco grupos ecológicos representados por ervas, árvores e arbustos, palmeiras, manguezal e esporos. Além dos grãos de pólen que foram encontrados na associação de fácies A, nesta associação foi possível identificar também grãos de *Lentibulariaceae* (0-20%) e *Aizoaceae* (0-2%) no grupo das ervas. Os grãos de pólen das árvores e arbustos são caracterizados por *Ílex* (0-5%), *Sebastiania* (0-5%), *Boraginaceae* (0-2%), *Annonaceae* (0-3%), *Sapotaceae* (0-2%), *Alnus* (0-5%), *Byrsonimia* (0-8%), *Sapindaceae* (0-5%), *Borreria* (0-10%), *Myrcinaceae* (0-5%) e

Anacardiaceae (0-4%). Chama atenção a presença de grãos de pólen de manguezal, representados por *Laguncularia* (0-20%) e *Avicennia* (0-3%) (tabela 2, figuras 12,14,16 e 18).

Para a associação de fácies B, os registros geoquímicos indicam valores de  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  e C/N variando de -24 a -17‰ (média -20 ‰), 4 e 7‰ (média 5,5 ‰) e 7 e 29 (média 18), respectivamente. O C-orgânico e N-total apresentaram valores variando entre 1,2 e 4,5‰ (média 2,85 ‰) e 0,05 e 0,25‰ (média 0,3 ‰), respectivamente (tabela 2, figuras 13,15,17 e 19).

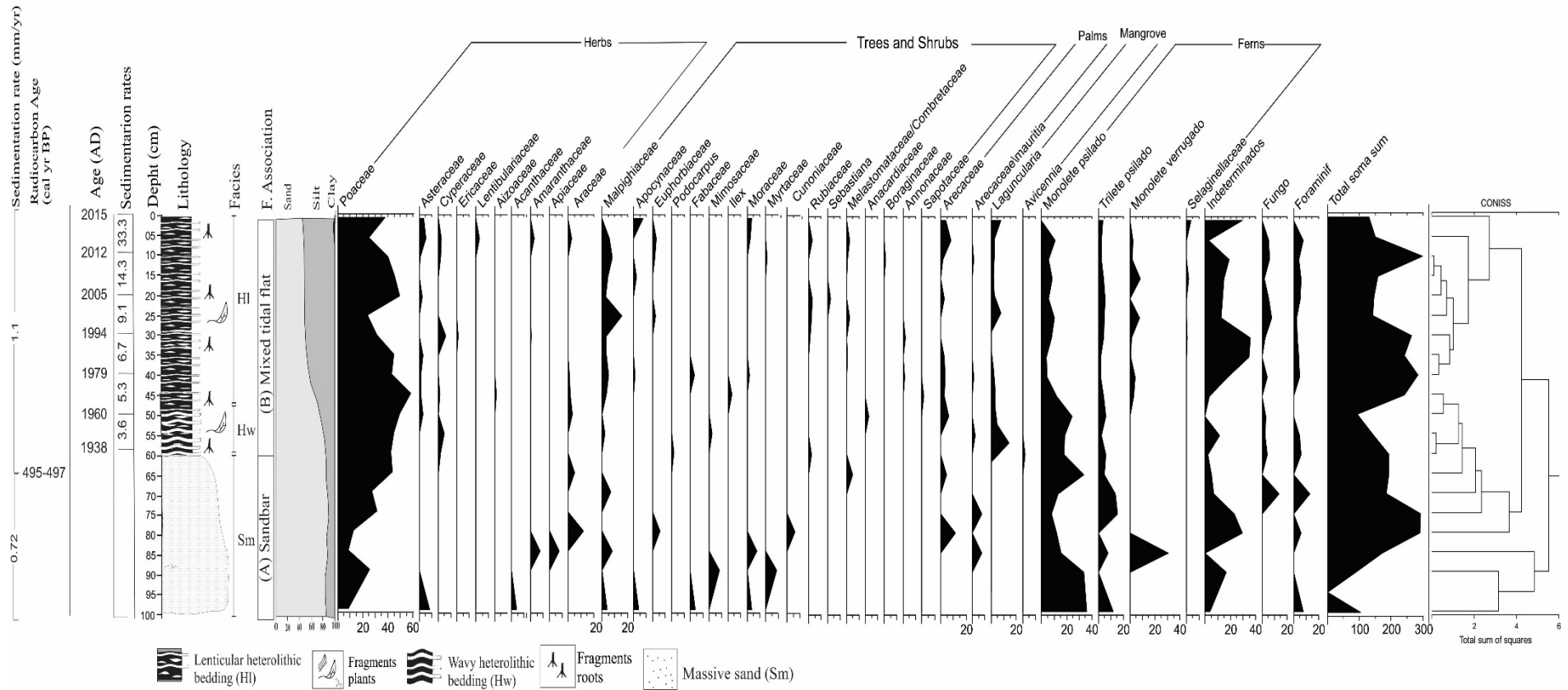


Figura 12- Resultado esquemático para o testemunho LAG3 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis cronológicos e litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, bem como os grupos polínicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama de pólen como porcentagens da soma total dos grãos pólen.

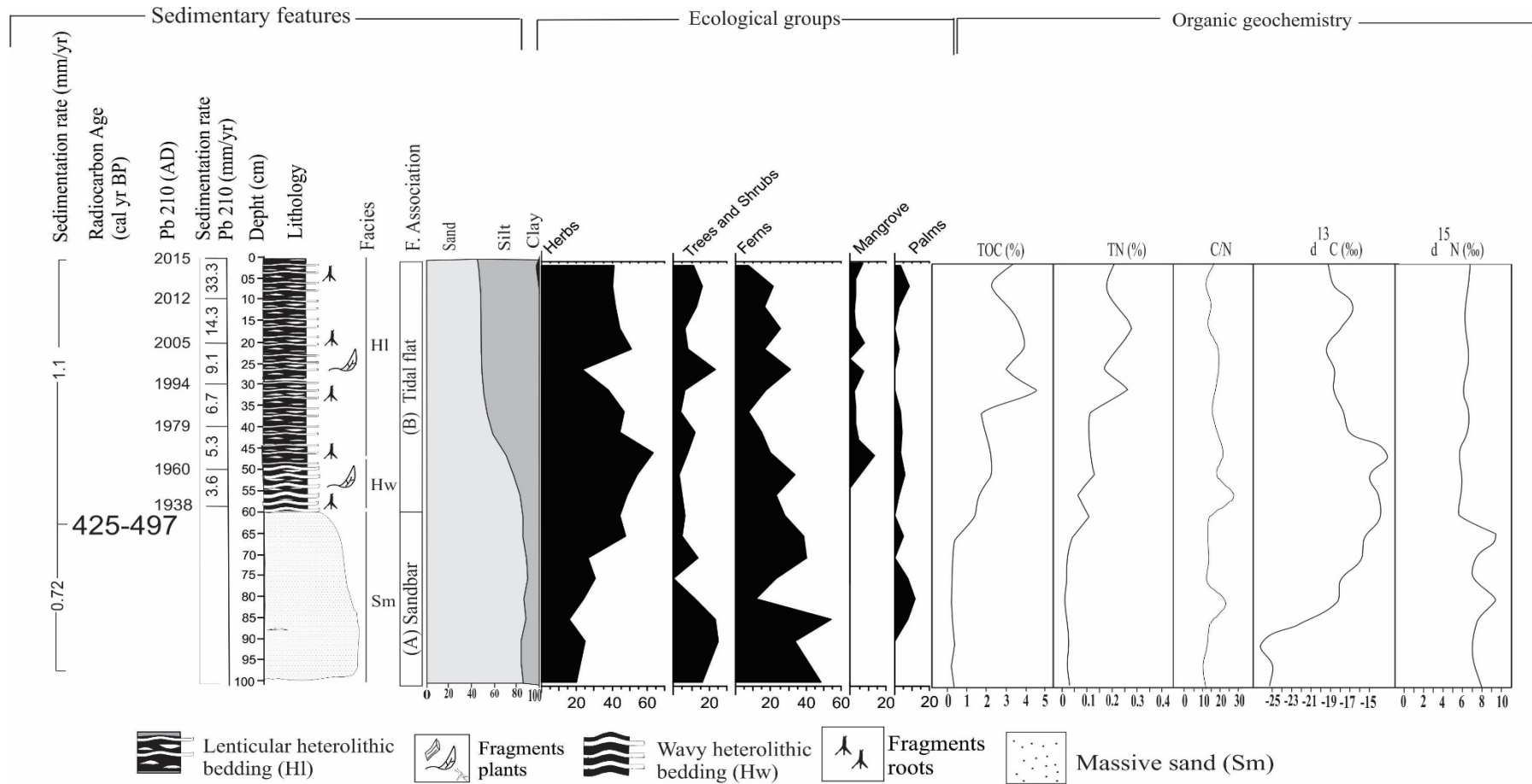


Figura 13- Resultado esquemático para o testemunho LAG-3 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis cronológicos e litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, dados isotópicos, assim como os grupos ecológicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama como porcentagens da soma total dos grãos.



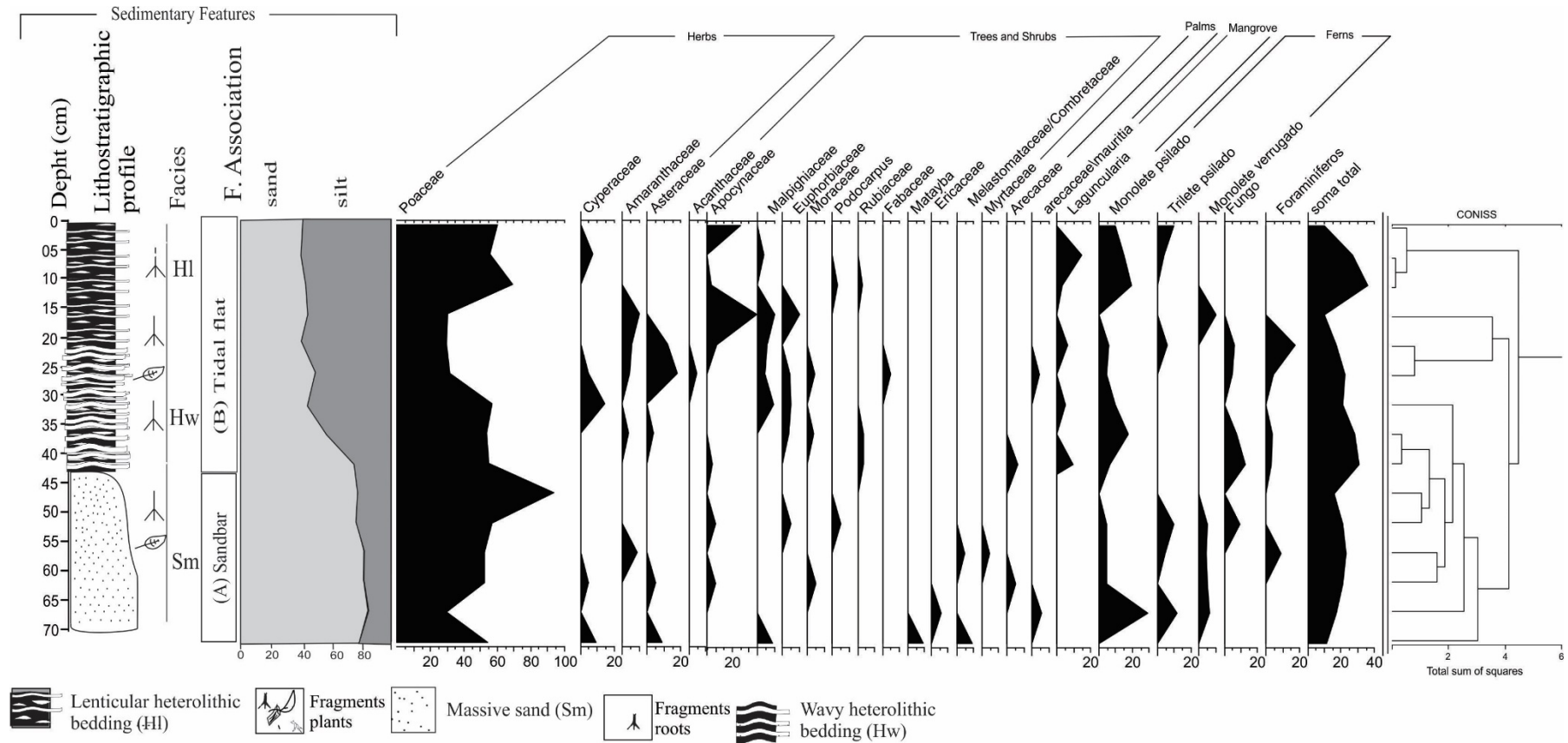


Figura 14- Resultado esquemático para o testemunho LAG4 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, dados isotópicos, bem como os grupos polínicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama como porcentagens da soma total dos grãos.

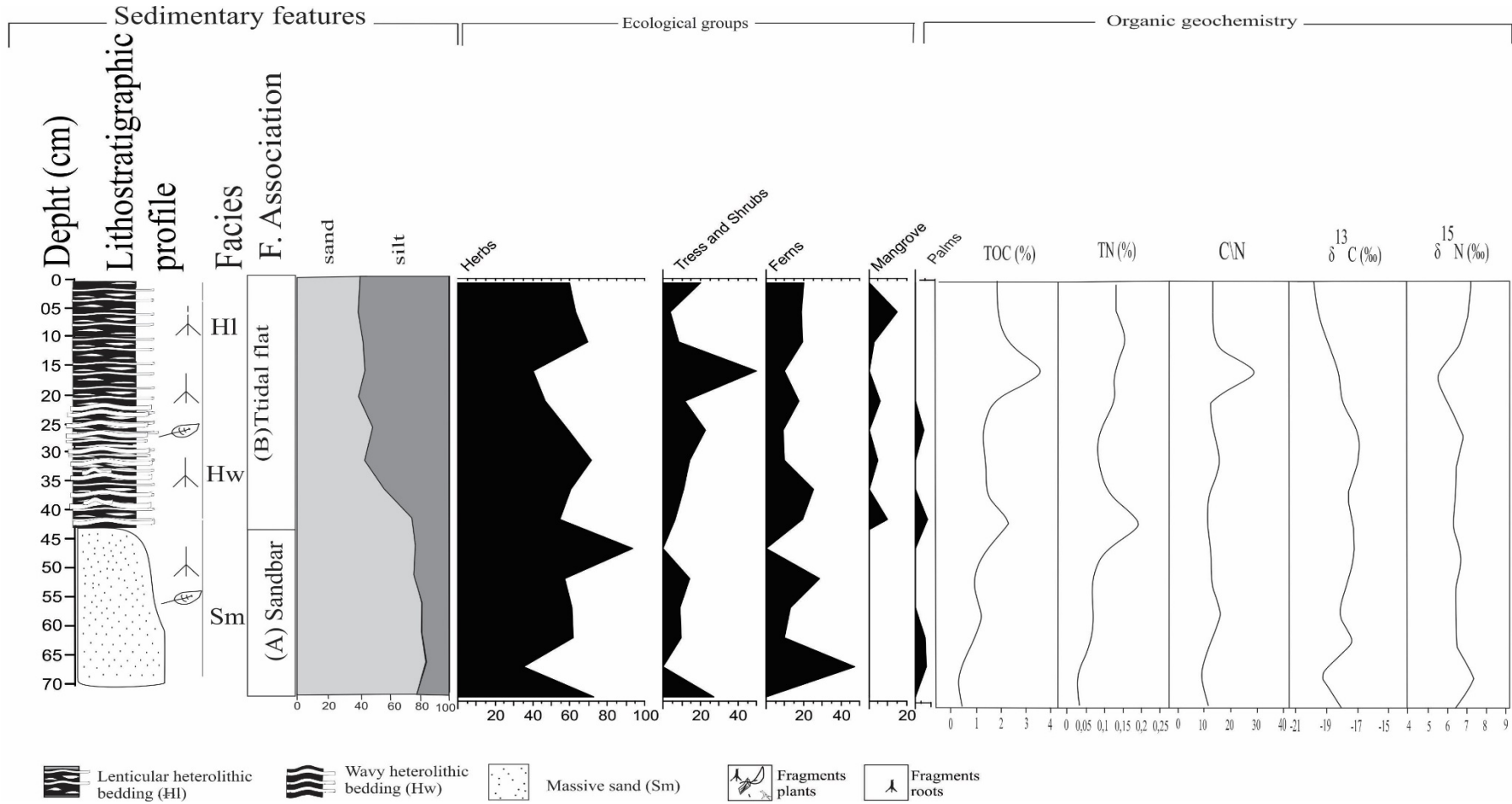


Figura 15- Resultado esquemático para o testemunho LAG4 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, dados isotópicos, bem como os grupos polínicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama como porcentagens da soma total dos grãos.

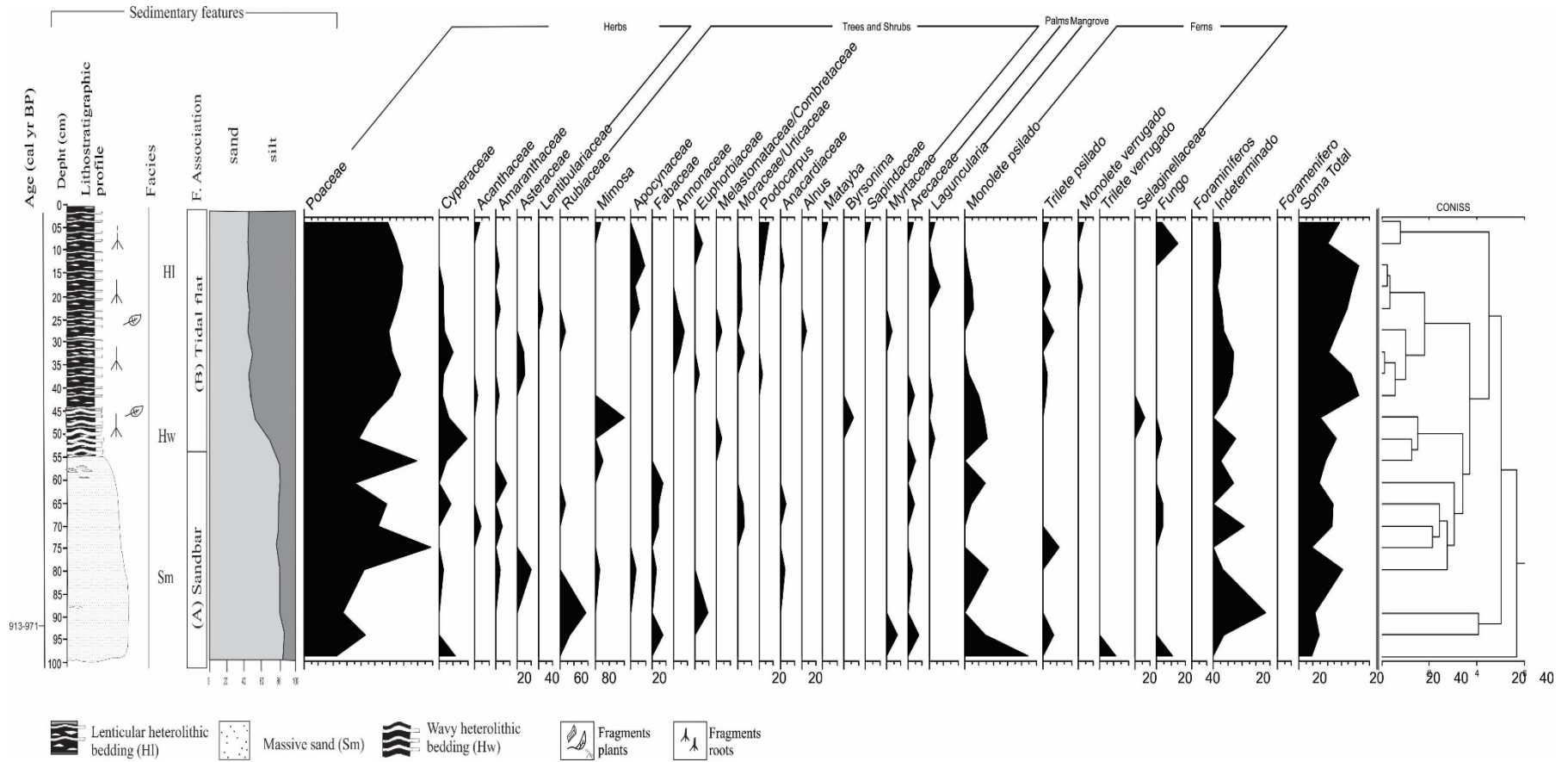
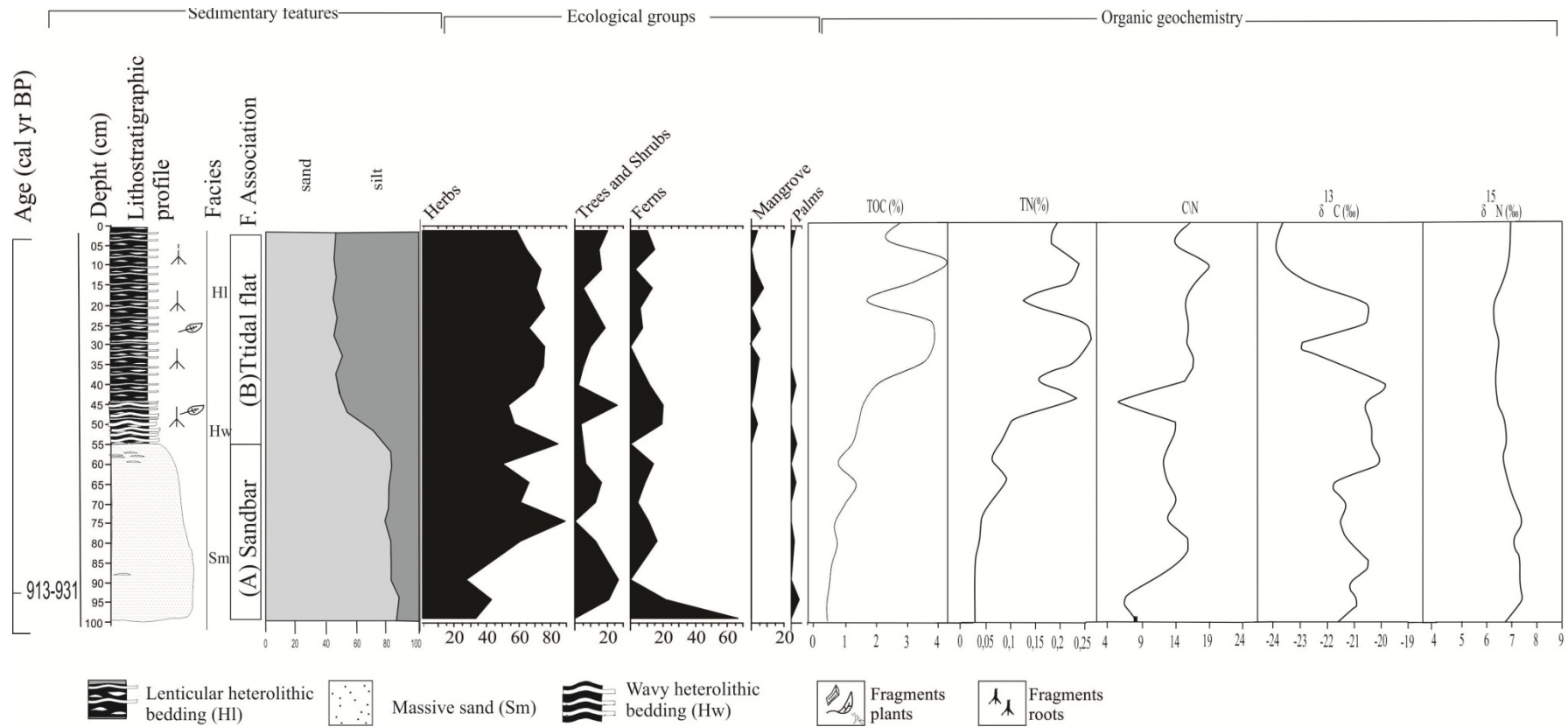


Figura 16- Resultado esquemático para o testemunho LAG5 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, bem como os grupos polínicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama como porcentagens da soma total dos grãos.



Figural7- Resultado esquemático para o testemunho LAG5 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, dados isotópicos bem como os grupos polínicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama como porcentagens da soma total dos grãos.

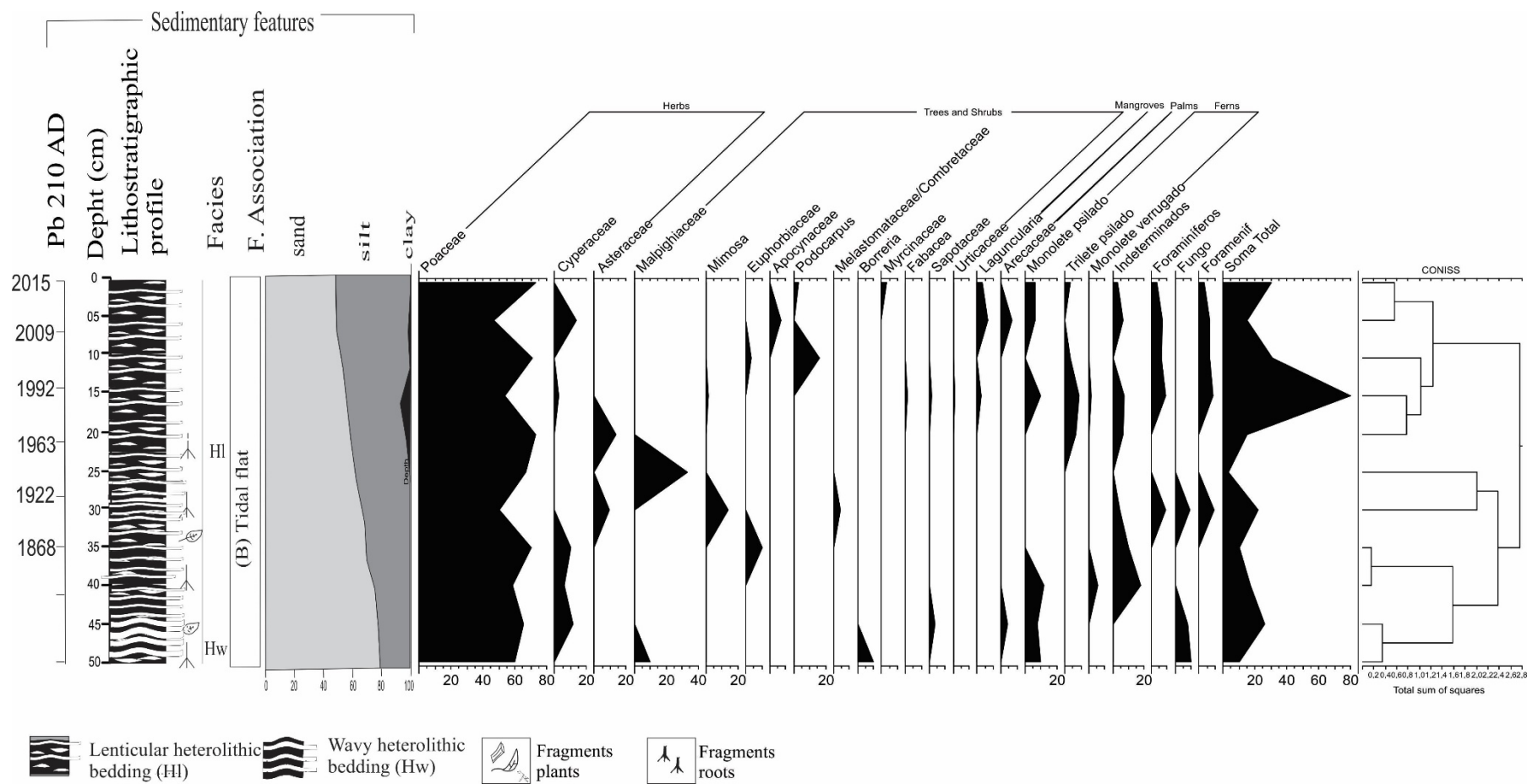


Figura 18- Resultado esquemático para o testemunho LAG 6 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, bem como os grupos polínicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama como porcentagens da soma total dos grãos.

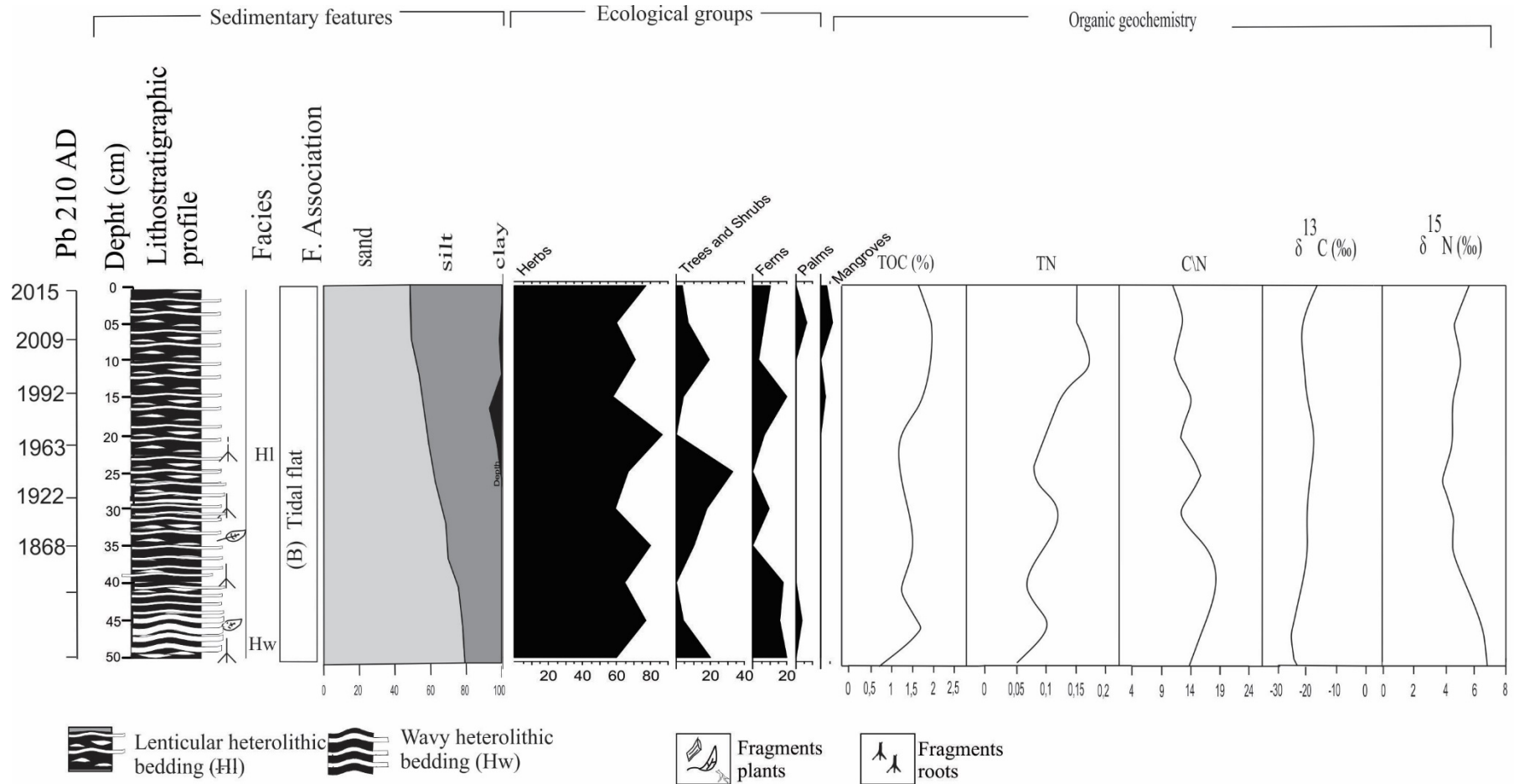


Figura19- Resultado esquemático para o testemunho LAG 6 com variações em função da profundidade do testemunho mostrando os perfis litológicos com suas respectivas fácies sedimentares, dados isotópicos, bem como os grupos polínicos. Os dados polínicos são apresentados no diagrama como porcentagens da soma total dos grãos.

## CAPÍTULO 5 INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÕES

Os dados sedimentológicos, palinológicos e isotópicos da matéria orgânica sedimentar obtidos dos testemunhos analisados, e localizados aproximadamente 4 km da linha de costa, indicam que os depósitos arenosos lagunares foram acumulados entre >940 e ~431 cal anos AP, provavelmente sob influência de uma subida do nível relativo do mar durante os últimos 1000 anos (Tomazelli 1990). Na segunda metade do último milênio, tais depósitos emergiram isoladamente em diferentes pontos da laguna e provavelmente sofreram diversas fases de erosão e deposição segundo a intensidade da ação de ondas e correntes, intensificados por eventos de tempestade e furacões. Entretanto, pelo menos nos últimos 50 anos ocorreu um aumento no acúmulo de sedimentos siltosos sob influência de maré. De acordo com o testemunho Lag 3, durante o acúmulo das barras arenosas no interior das lagunas, a matéria orgânica sedimentar era predominantemente de origem estuarina. Porém, durante a deposição dos sedimentos da planície de maré ocorreu um forte aumento na contribuição de matéria orgânica terrestre de plantas C4 (Figura 20), provavelmente influenciada pela expansão de *Spartina* sob as planícies de maré. É notável a presença de grãos de pólen de *Laguncularia* e *Avicennia* nos últimos 50 anos enquanto se desenvolvia a planície de maré. Atualmente ocorrem pequenas aglomerações de arbustos de *Laguncularia* com pequenos e poucos arbustos de *Avicennia*.

A expansão herbácea no momento da emersão das barras arenosas que passam a sofrer acúmulo de sedimentos sob influência da maré pode ser comparado ao processo de colonização herbácea de barras arenosas fluviais que é um processo amplamente caracterizado no sul do Brasil (Amaral *et al.* 2012). Os pântanos salgados de zonas temperadas são dominados por *Spartina* que possui uma tolerância maior às baixas temperaturas do inverno quando comparado com as árvores do mangue, que ocorrem predominantemente nas zonas tropicais (Idaszkin & Bortolus 2011, Soares *et al.* 2012). Considerando o litoral do Estado de Santa Catarina, os manguezais do norte desse estado, região de Joinville, exhibe árvores de *Rhizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia*. Na medida em que os manguezais se estendem para o sul, as árvores de *Rhizophora* diminuem sua densidade até o seu completo desaparecimento. Os manguezais de Laguna, localizado no sul de Santa Catarina apresentam predominantemente *Laguncularia* com algumas árvores de *Avicennia*. Essa distribuição dos gêneros de manguezais ao longo do litoral de Santa Catarina deve revelar a sua gradual intolerância às baixas temperaturas de inverno, onde a *Laguncularia* seria a mais tolerante e a

*Rhizophora* a menos adaptada às baixas temperaturas do inverno (Quisthoudt *et al.* 2012, Duke *et al.* 1998). Com base na influência dos gradientes de temperatura na distribuição da *Spartina* e nos gêneros de árvores de manguezais ao longo da costa de Santa Catarina, seria razoável propor que a recente colonização principalmente de *Laguncularia* na região de Laguna, Santa Catarina, estaria sendo possível devido ao gradual aumento das temperaturas de inverno observado principalmente nos últimos 50 anos (Marengo. 2007, Camargo *et al.* 2006, Cruz *et al.* 2009). Caso de fato exista uma relação de causa e efeito entre essa tendência climática e a expansão das árvores de *Laguncularia* para sul do Brasil, a superfície das barras areno/siltosas e planícies de maré lamosas da margem das lagoas do sul do Brasil, hoje em grande parte ocupadas por *Spartina*, serão gradualmente colonizadas e/ou substituídas não apenas por *Laguncularia*, mas também por *Avicennia* e dentro de mais alguns anos por *Rhizophora*. Portanto, seguindo essa expansão dos manguezais para latitudes mais austrais, a sucessão de pântanos de *Spartina* por árvores de manguezais causará também um aumento na capacidade dos sistemas deposicionais costeiros em reter sedimentos através da trama de raízes das árvores do mangue causando um aumento na acreção vertical de sedimentos (Furukawa & Wolanski, 1996). Esse processo diminuiria a vulnerabilidade do litoral sul do Brasil ao aumento do nível relativo do mar.



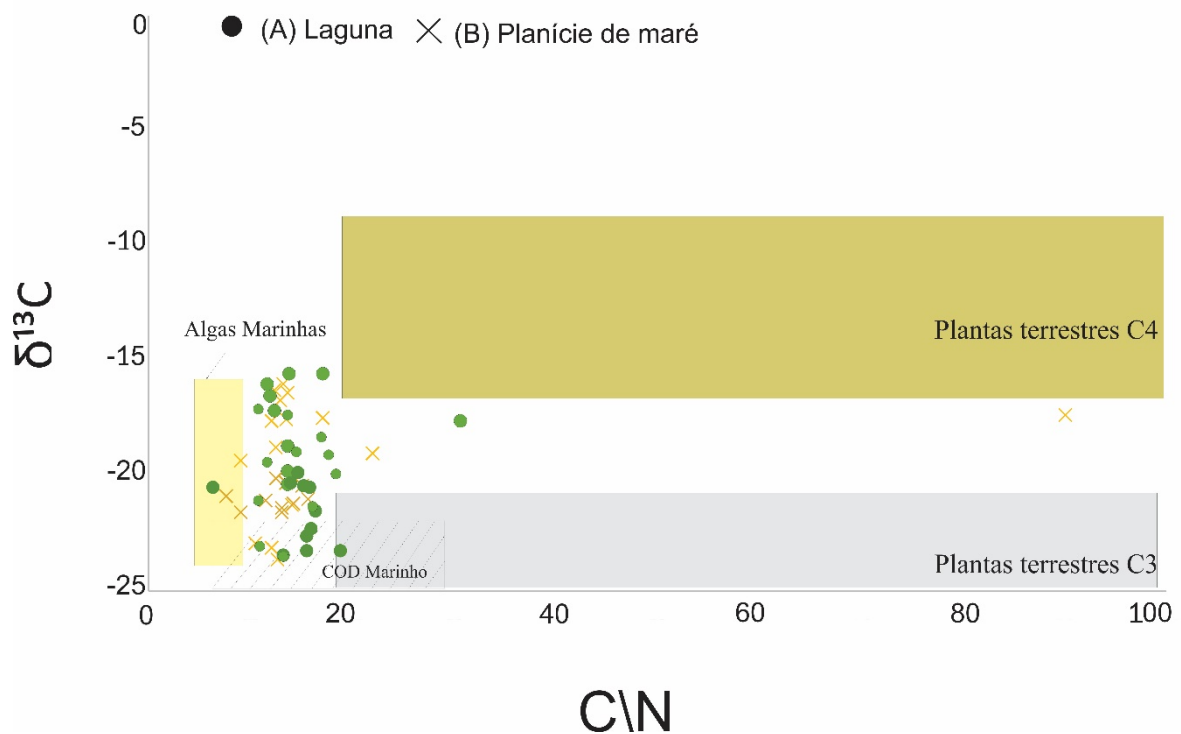


Figura20: Diagrama ilustrando a relação entre C<sup>13</sup> e C/N nos diferentes testemunhos.

### 5.1 OS MANGUEZAIS COMO PROTETORES DA LINHA DE COSTA

Considerando as correntes de maré no interior dos manguezais, estas são atenuadas pelo atrito causado pela elevada densidade da vegetação de manguezal. As partículas sedimentares carreadas em suspensão para dentro da floresta durante a inundação da maré são formadas principalmente por argila e silte, formando grandes flocos. Esses flocos permanecem em suspensão devido à turbulência criada pelo fluxo ao redor da vegetação. Vegetações mais densas uma matriz de raízes complexa tais como as de *Rhizophora*. Os flocos são acumulados nos manguezais principalmente durante a estabilização da maré alta. Assim, a inundação dos manguezais funciona como uma bomba preferencialmente transportando partículas finas de sedimentos de águas costeiras para os manguezais. Então, os manguezais contribuem para a criação de bancos de lama e este processo torna os manguezais importantes sumidouros de partículas em suspensão (Furukawa & Wolanski 1996).

Gedan *et al.* (2011) sugerem que os manguezais atuam como protetores contra a erosão, tempestades, e pequenas ondas de tsunami. Essa proteção ocorre porque a porção acima do solo das plantas pode reduzir diretamente as ondas através de sua presença estrutural e indiretamente atenuar os impactos das ondas estabilizando e acumulando sedimentos.

Locais com e sem vegetação de mangue foram analisadas e revelaram o papel crítico dessa vegetação em atenuar ondas. Embora sejam encontrados manguezais que são efetivos protetores da linha de costa, eles não podem proteger a linha de costa em todos os locais, pois a erosão em larga escala regional, rios meandantes, tempestades e grandes ondas de tsunamis podem suprimir o efeito de atenuação que esse ecossistema produz (Gedan *et al.* 2011).

Devido à relação não linear existente entre a atenuação de ondas e o tamanho do manguezal, até mesmo manguezais de pequeno porte proporcionam proteção substancial contra as ondas. As florestas de mangue modificam o litoral de várias maneiras, por exemplo, a acreção de turfas que aumenta a integridade da linha de costa em longos prazos, proporcionam uma medida de adaptação costeira duradoura que pode proteger o litoral contra o aumento acelerado do nível do mar e tempestades frequentes (Gedan *et al.* 2011).

## 5.2 EXPANSÃO DOS MANGUEZAIS PARA O NORTE DOS EUA

Segundo Saintilan *et al.* (2014) durante as últimas décadas os manguezais do mundo todo têm expandido em direção aos polos e substituído os pântanos salinos. Nos Estados Unidos (EUA), a expansão dos manguezais tem ocorrido tanto no leste quanto no oeste da Flórida. Stevens *et al.* (2006) preveem que as florestas de mangue devem cobrir o oeste da Flórida dentro de 25 a 30 anos. Cavanaugh *et al.* (2014) descobriram que uma diminuição de eventos frios extremos permitiu a expansão de manguezal em grande escala para além do seu limite de alcance ao longo da costa nordeste da Flórida.

Rodriguez *et al.* (2016) levantaram a hipótese de que a extensão de manguezais perto de sua faixa limite na Flórida varia em resposta às mudanças da temperatura do ar e das chuvas, e secundariamente, outras variáveis ambientais como nível do mar. Rodriguez *et al.* (2016) concluíram que os limiares climáticos podem ser o fator limitante na determinação e distribuição dos manguezais e pântanos salinos nas zonas úmidas costeiras. A expansão de habitats de manguezal e pântanos salinos observadas por toda a série temporal de 1942 a 2013 sugere um fenômeno recorrente onde os ecossistemas de manguezal e pântano salino alternam

no domínio, alcançam o equilíbrio e em seguida, invertem seu domínio no habitat (Rodriguez *et al.* 2016).

Osland *et al.* (2017) conduziram estudos na planície deltaica do rio Mississippi, Louisiana, EUA, utilizando dados históricos de temperatura entre 1983 e 2014, previram cenários climáticos e a evolução da cobertura de manguezais ao longo do tempo (1978-2011). Eles investigaram a relação entre as mudanças do clima e as flutuações espaço-temporais dos manguezais. Suas análises indicam que a cobertura de mangue tem sido controlada principalmente por eventos de congelamento extremo (temperaturas do ar em uma zona limiar abaixo de  $-6.3$  a  $-7.3$  °C).

De acordo com Osland *et al.* (2017) nos últimos 121 anos a taxa de expansão e contração tem ocorrido através de gradiente de temperatura entre o continente e oceano. A resistência, resiliência e dominância dos manguezais eram mais elevadas em áreas próximas ao oceano. essas áreas provavelmente servirão como pontos locais para a dispersão de manguezais, crescimento, expansão de alcance e deslocamento de pântanos salgados. Além disso, os resultados desta pesquisa demonstraram que a frequência e intensidade dos eventos de congelamento entre gradientes de temperatura através do continente e oceano possui grande influência nos padrões de expansão e contração espaço-temporais dos manguezais sensíveis ao congelamento.

## CAPITULO 6 CONCLUSÃO

Dados isotópicos ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , C/N), palinológicos, análise de fácies, tamanho das partículas de sedimento, datação por  $^{14}\text{C}$  e  $^{210}\text{Pb}$  obtidos a partir de quatro testemunhos de sedimento de uma barra arenosa presente na lagoa de Santo Antônio, próximo à cidade de Laguna, sul do Brasil sugerem que a implantação das árvores de *Laguncularia* nas planícies de maré do extremo sul do Brasil ocorreu nos últimos 60 anos. A emersão das barras arenosas expondo sua superfície à ação da maré pode estar relacionada a uma descida do NRM ou simplesmente aos processos de acreção vertical dos sedimentos. A exposição da barra arenosa em estudo às mudanças no fluxo hidrodinâmico causado pela ação das correntes, ondas e marés resultou em uma alternância milimétrica nas camadas de lama e areia, segundo uma acreção vertical, com potencial para preservar matéria orgânica e grãos de pólen que revelaram a história evolutiva da paleoflora nesse ambiente deposicional. Os dados indicam que após a emersão da barra arenosa em estudo, arbustos de *Laguncularia* formaram pequenos agrupamentos (50-100m de diâmetro) envolvidos por uma planície de *Spartina*. Merece ser destacado que somente após a exposição à ação das marés, com acúmulo de lama, foi possível a implantação das árvores de *Laguncularia*. Diferente dos processos físicos relacionados ao acúmulo de lama que favoreceu a implantação e expansão das árvores de *Laguncularia*, o stress climático sobre as árvores de mangue causado pelas baixas temperaturas de inverno devem ter inviabilizado a implantação e expansão de *Laguncularias* nas planícies de maré da Laguna de Santo Antônio no início do século XX. Entretanto, estudo climáticos sobre o aumento nas médias das mínimas temperaturas de inverno na região de estudo nos últimos 50 anos (Marengo. 2007, Camargo *et al.* 2006, Cruz *et al.* 2009) pode estar favorecendo a implantação e expansão de *Laguncularia* sobre as planícies de maré lamosas de Santa Catarina a partir de meados do século XX. Os extremos latitudinais para a implantação de árvores de mangue apresentam média mensal mais fria em torno de 20°C e a amplitude termal precisa ser inferior a 5 C° (Pomeroy & Chapman 1978). Tal barreira climática pode estar sendo gradualmente rompida em Santa Catarina, onde o gradiente de distribuição de árvores de mangue se apresenta com *Rhizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia* no norte desse estado, na região de Joinville, enquanto que na porção intermediária ocorrem somente *Avicennia* e *Laguncularia*. O extremo sul de Santa Catarina, região de Laguna, ocorre predominantemente *Laguncularia*. Esse padrão de árvores de mangue ao longo da costa de Santa Catarina revela a tolerância das árvores de mangue às baixas temperaturas,

com a *Rhizophora* e *Laguncularia* sendo as menos e mais tolerantes, respectivamente. Considerando tal contexto e os perfis polínicos estudados, é razoável propor que a recente colonização de *Laguncularia* na região de Laguna está sendo causada pelo aumento gradual das temperaturas mínimas de inverno observado nos últimos 50 anos. Caso de fato exista uma relação entre essa tendência climática e a expansão das árvores de *Laguncularia* para sul do Brasil, a superfície das barras areno/siltosas e planícies de maré lamosas da margem das lagunas do sul do Brasil, hoje em grande parte ocupadas por *Spartina*, serão gradualmente colonizadas e/ou substituídas não apenas por *Laguncularia*, mas também por *Avicennia* e dentro de mais alguns anos por *Rhizophora*.

## REFERÊNCIAS

- Addad J. 1997. Alterações fluviais e erosão costeira. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **2**(2): 21-44.
- Alongi D.M. 2008. Mangrove forests: Resiliense, protection from tsunamis, and response to global climate change. *Estuarine Coastal Shelf Science* **76** (1): 1–13.
- Adriana S. S. 2009. *Dinâmica de colonização de araucaria angustifolia em campos e sua influência na expansão florestal no Sul do Brasil* - DS Mestrado, Instituto de Biociências, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 109 p.
- Angulo R.J, Giannini P.C.F, 1996. Variacao do nivel relativo do mar nos ultimos dois mil anos na regio sul do Brasil: Uma discussao. *Boletim Paranaense de Geosciências* **44**: 67–75.
- Angulo R.J, Giannini P.C.F, Suguio K, Pessenda L.C.R. 1999. Relative sea-level changes in the last 5500 years in southern Brazil (Laguna-Imbituba region, Santa Catarina State) based on vermetid <sup>14</sup>C ages. *Marine. Geology*. **159** (1-4): 323–339 p.
- Angulo R.J. 1992. *Geologia da planície costeira do Estado do Paraná* - TS Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 334 p.
- Amaral P.G.C, Gianinni P.C.F, Sylvestre F, Pessenda L. C. R. 2012. Paleoenvironmental reconstruction of a Late Quaternary lagoon system in southern Brazil (Jaguaruna region, Santa Catarina state) based on multi-proxy analysis. *Journal of Quaternary Science*, **27** (2) : 181–191.
- Amaral D.D, Mantelli L.R, Rossetti D. F. 2012. Palaeoenvironmental control on modern forest composition of southwestern Marajó Island, Eastern Amazonia. *Water Environmental Journal*. **26** (1): 70–84 p.
- Appleby P. G, Oldfield F. 1983. The assement of 210Pb data from sites with varying sediment accumulation rates. *Hydrobiologia* **103** (1): 29-35.
- Audesirk G. 1985. Effects of lead exposure on the physiology of neurons. *Progress in Neurobiology* **24** (3): 199-231.
- Benninger L. K, Lewis D. M, Turekian K. K. 1975. The use of natural Pb-210 as a heavy metal tracer in the river-estuarine system. In: Church T. M. (edt.). *Marine chemistry in the coastal environmental*. Washington, D. C., American Chemival Society, p. 202-210. (ACS Symposium Series. Number 18).
- Behling H. 2002. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: A synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **177** (1-2): 19–27.
- Bertoldo E, Paisani J.C, Oliveira P.E. 2014. Registro de floresta ombrófila mista nas regiões Sudoeste e Sul do Estado do Paraná, Brasil, durante o Pleistoceno / Holoceno. *Hoehnea*, **41**: 1–8.

- Boutton, T.W., Yamasaki, S.I., 1996. Stable carbon isotope ratios of soil organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. *Mass Spectrometry of soils* **124**, 47–82.
- Bradley R.S. 1999. *Paleoclimatology reconstruction climates of the Quaternary*. San Diego, USA, Harcourt Academic Press, p 613.
- Bridge J. S. 2009. *Rivers and floodplains: forms, processes, and sedimentary record*. New York, EUA, 491p.
- Broecker W.S. 2007. Radiocarbon *In: Treatise on geochemistry*. San Diego, Elsevier, **4**: 1–18
- Camargo 2006. *SYSGRAN para windows: sistema de análises granulométricas*. disponível em: [www.cem.ufpr.br](http://www.cem.ufpr.br).
- Camargo C. G. C, Braga H, Alves R. 2006. Mudanças climáticas atuais e seus impactos no Estado de Santa Catarina. *Revista Agropecuária Catarinense*, **19** (3): 31-35.
- Cavanaugh K.C, Kellner J.R, Forde A.J, Gruner D.S, Parker J.D, Rodriguez W, Feller I.C. 2014. Poleward expansion of mangroves is a threshold response to decreased frequency of extreme cold events. *In: National Academy of Sciences. Proceedings...* **111** (2): 723–727.
- Chapman V.J. 1976. Mangrove vegetation forestry. *International Journal of Forest Research*, **50**: 447.
- Chanton J. P, Martens C. S, Kipphut G. W. 1989. Lead-210 sediment geochronology in changing coastal environment. *Geochim. Cosmochim*, **47**: 1791-1804.
- Cohen, M.C.L., Lara, R.J. 2003. Temporal changes of mangrove vegetation boundaries in Amazonia: Application of GIS and remote sensing techniques. *Wetlands Ecology Management*, **11** (4): 223–231.
- Cohen M.C.L, Pessenda L.C.R, Behling H, Rossetti D, França M.C, Guimarães J.T.F, Friaes Y, Smith C.B. 2012. Holocene palaeoenvironmental history of the Amazonian mangrove belt. *Quaternary Science Reviews*, **55**: 50–58.
- Cruz G, Camargo C, Monteiro M, Braga H, Pinto E. 2009. Levantamento de horas de frio nas diferentes regiões de Santa Catarina. *Revista Agropecuária Catarinense*, **22** (1): 44-47.
- Duke N.C, Ball M.C, Ellison J.C. 1998. Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves. *Global Ecology and Biogeography Letters*, **7** (1): 27–47.
- Ewel K.C., Zheng S., Pinzón Z.S., Bourgeois J.A. 1998. Environmental effects of canopy gap formation in higherainfall mangrove forests. *Biotropica*. **30** (4) :510–518.
- Evans R. D, Rigler F. H. 1980. Measurement of whole lake sedimentaccumulation and phosphorus retention using lead-210 dating. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **37** (5): 817-823.
- Empresa Brasileira de Agropecuária (Embrapa) 2013. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 379 p. (Boletim Técnico, 45).

- Ebeling A.G, Anjos L.H.C, Perez D.V, Pereira M.G, Valladares G.S. 2008. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. *Bragantia*. **67** (2): 261-266.
- Faria A.P. 2005. Eustasia global e a realidade do litoral brasileiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. **6** (2): 75–82 p.
- França M.C. 2010. *Desenvolvimento da vegetação e morfologia da foz do Amazonas PA e Rio Doce-ES durante o quaternário tardio*. TS Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 172p.
- Francis C. W., Chester G., Haskin L. A. 1970. Determination of lead-210 mean residence time in o atmosphere environmental. *Science Technology*. **4** (7): 586–589.
- Ferreira P. A. L, Silva S.C, Pômpeo M, Figueira R. C. 2015. *Geocronologia e datação por radionuclédeos: um estudo de caso: represa paiva castro (Sistema Cantareira-Mariporã-São Paulo)*.11p.
- Furukawa K, Wolanski E. 1996. Sedimentation in mangrove forests. *Mangroves Salt Marshes* **1** (1): 3-10.
- Gedan K.B, Kirwan M.L, Wolanski E, Barbier E.B, Silliman B.R. 2011. The present and future role of coastal wetland vegetation in protecting shorelines: Answering recent challenges to the paradigm. *Climate Change*, **106** (1): 7–29 .
- Giannini P.C.F. 2002. Complexo Lagunar Centro-Sul Catarinense. *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. **75**: 213–222.
- Giannini P.C.F., 1993. *Sistemas deposicionais no Quaternário costeiro entre jaguaruna e Imbituba*. TS Doutorado - Instituto de geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 278 p.
- Giannini P.C.F, Sawakuchi A.O, Martinho C.T, Tatumi S.H. 2007. Eolian depositional episodes controlled by Late Quaternary relative sea level changes on the Imbituba-Laguna coast (southern Brazil). *Marine. Geology*. **237** (3-4): 143–168.
- Gornitz V. 1991. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Paleoecology*, **89** (4): 379–398.
- Gornitz V, Lebedeff S, Hansen J. 1982. Global Sea level trend in the past century. *Science* **215** (4540): 1611–1614.
- Grimm E.C. 1987. Constrained cluster analysis by the method of Incremental Sum of Squares. *Computers and Geosciences*, **13**: 13–35.
- Hesse M, Waha M. 1989. A new look at the acetolysis method. *Plant Systematics and Evolution*. **163** (3-4): 147–152.
- Hoegh-Guldberg O., Bruno J.F. 2010. The impact of climate change on the world’s marine ecosystems. *Science*. **328** (5098): 1523–1528.



- Hooghiemstra H. 1984. Vegetational and climatic history of the high plain of Bogota, Colombia: a continuous record of the last 3.5 million years. *Dissertation Botanicae* **78** (1) 368
- Horn Filho N.H. 2003. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. *Geosul* **18** (35): 71–98.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. *Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers*. 31 p.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2017. Estação meteorológica de observação. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 30.01.2017.
- Idaszkin Y.L, Bortolus A. 2011. Does low temperature prevent *Spartina alterniflora* from expanding toward the austral-most salt marshes? *Plant Ecology*. **212** (4): 553–561
- Kjerfve B. 1986. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: Wolfe D. A. (Edit.). *Estuarine variability*. [S.l.], Academic Press, p. 63-81.
- Kjerfve B., Magill K.E. 1989. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. *Marine Geology* **88** (3-4): 187–199 .
- Krishnaswamy S, Lal D, Martin J. M., Meybeck M. 1971. Geochronology of lake sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, **11** (1-5): 407-414.
- Koide M, bruland K. W, Goldberg, E. D. 1973. Th-228/Th-232 Pb-210 geochronologies in marine and lake sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **37**(5): 1171-1187.
- Lamb A.L. Wilson G.P, Leng M.J. 2006. 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*, **75** (1-4): 29-57.
- Libby W.F, Anderson E.C, Arnold J.R. 1949. Age Determination by Radiocarbon Content: World-Wide Assay of Natural Radiocarbon. *Science*, **109** (2827): 227–228.
- Lima R.M.D.S, Barberi M, 2005. Análise palinológica: fundamentos e perspectivas na pesquisa arqueológica. *Habitus*, **3** (2): 261–290.
- Lugo A.E, Medina E, Cuevas E, Cintrón G, Laboy Nieves E.N, Novelli Y.S. 2007. Ecophysiology of a mangrove forest in Jobos Bay, Puerto Rico. Caribbien. *Journal of Science* **43** (2): 200–219 p.
- Marta V.1999. *Os manguezais e nós: uma síntese de percepções*. São Paulo, Editora de São Paulo Edusp. v. 2, p. 233.
- Marengo J.A. 2007. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 214 p.
- Martin L, Suguio K, Flexor J.M. 1988. Hauts niveaux marins Pleistocenes du littoral bresilien. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **68** (2-4): 231–239 .
- Mazda Y, Magi M, Ikeda Y, Kurokawa T, Asano T. 2006. Wave reduction in a mangrove forest dominated by *Sonneratia* sp. *Wetlands Ecology and Management*, **14** (4): 365-378 .

- Meade R.H. 1969. Landward transport of bottom sediments in estuaries of the Atlantic coastal plain. *Journal of Sedimentary Petrology*, **39** (1): 222-234.
- Meyers P.A. 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*, **114** (3-4): 289–302.
- Mitchell J.F.B. 1989. The “greenhouse” effect and climate change. *Reviews of Geophysics*, **27** (1): 115–139 p.
- Miranda L.B, Castro B.M. & Kjerfve B. 2002. *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo, EDUSP, v. 42 424 p.
- Noernberg M. A. 2000. Monitoramento da variação da linha praias no balneário de Pontal do Sul-PR utilizando imagens multiespectrais Landsat-TM. In: Simpósio Brasileiro Sobre Praias Arenosas. *Anais...* Itajaí, Santa Catarina, p. 105-106.
- Osland M.J., Day R.H, Hall C.T, Brumfield M.D, Dugas J.L, Jones W.R. 2017. Mangrove expansion and contraction at a poleward range limit: climate extremes and land-ocean temperature gradients. *Ecology* **98** (1): 125–137.
- Pessenda L. C. R, Gouveia S. E. M, Freitas H. D, Ribeiro A. D. S, Aravena R, Bendassolli J. A., Scheel-Ybert R. 2005. *Isótopos do carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto, São Paulo, Holos Editora, p. 75-93.
- Pomeroy L.R, Chapman V.J. 1978. Coastal wetlands. *Bioscience* **28**: 404.
- Quisthoudt K, Schmitz N, Randin C.F, Dahdouh-Guebas F, Robert E.M.R, Koedam N. 2012. Temperature variation among mangrove latitudinal range limits worldwide. *Trees* **26** (6): 1919–1931 p.
- Raven P.E.S, Evert R. 1996. *Biologia vegetal*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, v. 7, 728 p.
- Reef R, Feller I.C, Lovelock C.E. 2010. Nutrition of mangroves. *Tree Physiology*. **30** (9): 1148–1160.
- Reimer P.J, Baillie M.G.L, Bard E, Bayliss A, Beck J.W, Blackwell P.G, Bronk Ramsey C, Buck C.E, Burr G.S, Edwards R.L, Friedrich M, Grootes P.M, Guilderson T.P, Hajdas I, Heaton T.J, Hogg A.G, Hughen K. A, Kaiser K.F, Kromer B, Cormac F.G, Manning S.W, Reimer R.W, Richards D. A, Southon J.R, Talamo S, Turney C.S.M, Plicht J, Weyhenmeyer C.E. 2009. INTCAL 09 and MARINE09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years Cal BP. *Radiocarbon*, **51** (4): 1111–1150 .
- Reis A. 2002. *Quando o mar enrola na areia: a dinâmica do litoral arenoso*. Portugal, Empresa Gráfica Ferrense S.A. 150p.
- Rodriguez W., Feller, C. I., Cavanaugh, K. C. 2016. Spatio-temporal changes of a mangrove–saltmarsh ecotone in the northeastern coast of Florida, USA. *Global Ecology and Conservation*, **7**: 245–261.
- Sabaris T. P. P. 2010. *O método Geocronológico do Pb-210 aplicado no estudo da taxa de*

*sedimentação em uma porção da bacia do rio Atibaia (SP)*- TS Doutorado- Universidade estadual paulista, São Paulo, 173 p.

Sampaio A. C. F, Melo A. D. A, Faria A. D., Menezes, P. D. 2003. Oscilação do nível do mar no futuro e possíveis conseqüências no Brasil: pequeno ensaio. *In: 21º Congresso Brasileiro de Cartografia*. Belo Horizonte, MG. *Anais...* Belo Horizonte, MG, 00-00 p.

Salgado-laboriau M.L 2007. *Crítérios e técnicas para o Quaternário*. São Paulo: E. Busher p. 387.

Salgado-Labouriau M. L. 1984. Reconstrucion de los ambientes atraves de los granos de polen. *Investigacion y Ciencia*, **96**: 6-17.

Santa Catarina 1986. *Atlas de Santa Catarina*. [S.l., s.n.], 173 p.

Schaeffer-Novelli, Y. Cintrón-Molero G, Adaime R.R, Camargo T.M. 1990. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*, **13** (2): 204–218.

Schaeffer-Novelli Y, Cintrón G, Soares M.L.G. 2000. Aquatic ecosystem health and management. *Brazilian mangroves*, **3**: 561–560 p.

Sharma P. Gardner L. R, Moore W. S., Bollinger M. S. 1987. Sedimentation and bioturbation in a salt marsh as revealed by <sup>210</sup>Pb, <sup>137</sup>Cs, and <sup>7</sup>Be studies. *Limnology and Oceanography*, **32** (2): 313-326.

Smith N. 2014. Sedimentology and Bar Formation in the Upper Kicking Horse River , a Braided Outwash Stream. *Journal of Geology*. **82** (2): 205–223.

Stevens P.W, Fox S.L., Montague C.L. 2006. The interplay between mangroves and saltmarshes at the transition between temperate and subtropical climate in Florida. *Wetlands Ecology and Management*, **14** (5): 435-444.

Soares M.L.G, Estrada G.C.D, Fernandez V, Tognella M.M.P. 2012. Southern limit of the Western South Atlantic mangroves: Assessment of the potential effects of global warming from a biogeographical perspective. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **101**: 44–53.

Spalding M.D, Blasco E, Field C.D. 1997. *World mangrove atlas*. [S.l.], The International Society for Mangrove Ecosystems. 178 p.

Stewart R.H. 2007. Physical oceanography. *Nature*, **449**: 34–5.

Stockmarr J. 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis, in absolute pollen analyses. *Pollen et Spores*, **13**: 615–621.

Suguio K. Martin L, Bittencourt A. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, **15**: 273–286.

Trabanco J.L.A, Simões E.F.J, Bueno R. 2001. Metodologia para implantação de estações GPS de alta precisão para apoio ao monitoramento do nível médio do mar. Disponível em: <<http://www.cartografia.org.br/xixcbcd/artigos/c2>>. Acessado em 24.8.17.

Thomas S.M, Long S.P. 1978. C4 photosynthesis in *Spartina townsendii* at low and high

temperatures. *Planta*, **142** (2): 171–174.

Tomlinson P.B. 1994. The botany of mangroves. *Brittonia* **39**: 419.

Tomazelli L.J. 1990. *Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocenicos do nordeste da provincia costeira do Rio Grande do Sul, com enfase no sistema eólico*. TS Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 270 p.

Tukerian K.N, Benninger K.L.K, Dion E. P. 1983. Be and  $^{210}\text{Pb}$  total deposition fluxes at new haven, connecticut and at Bermuda. *Journal of Geophysical Research*, **38** (9): 5411-5415.

Wilson G.P, Lamb A.L, Leng M.J, Gonzalez S, Huddart D, 2005. Variability of organic  $\delta^{13}\text{C}$  and C/N in the Mersey Estuary, U.K. and its implications for sea-level reconstruction studies. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **64** (4): 685–698 .

Woodroffe C.D. 1995. Response of tide-dominated mangrove shorelines in Northern Australia to Anticipated Sea-Level Rise. *Earth Surface Processes and Landforms*, **20** (1): 65–85.

Woodroffe C.D., Grindrod J. 1991. Mangrove biogeography: the role of quaternary environmental and sea-level change. *Journal of Biogeography*, **18** (5): 479–492.