

JOSÉ CARLOS BRANCO

**ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES DE UM SETOR DA BARREIRA PLEISTOCÊNICA EM
PARANAGUÁ-PR, SUL DO BRASIL**

Tese apresentada como requisito parcial
à obtenção do Grau de Doutor. Programa
de Pós-Graduação em Geologia, Setor de
Ciências da Terra, Departamento de
Geologia, Universidade Federal do
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rodolfo José Angulo

Co-orientadora: Prof. Dra. Maria Cristina de Souza

Curitiba
2010

*Tell me could you ever tell the secret of the sea?
These high rolling waves along the shore
The footprints of the lovers that come here to love
By the tides washed away forever more*

Secret of the Sea

Wood Guthrie 1939

AGRADECIMENTOS

Rodolfo José Angulo, Maria Cristina de Souza, Luiz Alberto Fernandes, Sibelle Trevisan Disaró, Daniel Vicente Pupo, Thaís Alves Pereira Gonçalves, Rita Scheel - Ybert, Eliane Maria Stroparo, Sarita Pavin, Paulo Lana, Fernando Alvin Veiga, Maria Luiza Martini dos Anjos, Marcelo Müller, Clécio de Quadros, Marcelo Lamour, André Santiago, LECOST – Laboratório de Estudos Costeiros, Departamento de Geologia da UFPR, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, projeto 141243/2005-8, o qual forneceu o apoio financeiro e a bolsa de doutorado.

Aos meus pais Ignêz Luzia Branco & Lourival Branco.

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	ii
Lista de figuras.....	v
Lista de quadros e tabelas.....	vi
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
1 Introdução.....	1
2 Objetivos.....	2
3 Área de estudo	2
4 Conhecimentos prévios do litoral paranaense	4
4.1 Clima.....	4
4.2 Ventos.....	4
4.3 Ondas e marés	5
4.4 Vegetação.....	5
4.5 Morfologia	6
4.6 Principais unidades geológicas.....	7
4.6.1 Rochas do embasamento	7
4.6.2 Cobertura sedimentar	7
4.7 Evolução geológica da planície costeira	8
4.8 Planícies de maré	9
4.9 Planície paleoestuarina.....	10
5 Subestágio isotópico marinho 5e (OIS 5e)	10
5.1 Conceito.....	10
5.2 O último interglacial e o nível relativo dos oceanos	12
5.3 Pleistoceno tardio na costa brasileira	12
5.4 Subestágio isotópico marinho 5e (OIS 5e) no litoral de Santa Catarina	14
5.5 Subestágio isotópico marinho 5e (OIS 5e) no litoral do Rio Grande do Sul.....	14
5.6 Subestágio isotópico marinho 5e (OIS 5e) no litoral do Paraná	15
6 Barreiras costeiras.....	16
6.1 Classificações de barreiras.....	16
6.2 Modelos de barreiras	17
6.3 Modelos de barreiras na costa brasileira	21
7 Materiais e métodos	25
7.1 Descrição e interpretação das fácies.....	25
7.1.1 Perfis estratigráficos e sondagens com vibro-testemunhador	25
7.1.2 Dados complementares	28
7.1.3 Nivelamento	28

7.1.4	Análise faciológica	28
7.1.5	Análises sedimentológicas.....	29
7.2	Identificação do conteúdo fossilífero.....	29
7.2.1	Análise de microfósseis	29
7.2.2	Análise de macrofósseis	30
7.2.3	Datação de troncos e madeiras	31
8	Resultados.....	31
8.1	Composição e granulometria	31
8.1.1	Fração areia.....	31
8.1.2	Fração lama	32
8.2	Espessura da barreira.....	33
8.3	Fácies sedimentares.....	35
8.4	Descrição das fácies sedimentares	36
8.4.1	Areia com estratificação cruzada <i>swaley</i> (Ssw).....	36
8.4.2	Areia com estratificação cruzada planar (Sp)	38
8.4.3	Areia com estratificação cruzada acanalada (St).....	39
8.4.4	Areia com estratificação cruzada sigmóide (Ssg)	40
8.4.5	Areia com ondulações e laminações cruzadas (Sr).....	41
8.4.6	Areia maciça (Sm)	43
8.4.7	Areia com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sli)	43
8.4.8	Areia com acamamento <i>flaser</i> (Sf).....	45
8.4.9	Lama com estratificação <i>linsen</i> (FI)	45
8.4.10	Lama maciça (Fm).....	46
8.4.11	Lama em <i>drapes</i> (Fd)	46
8.4.12	Lama bioturbada (Fb)	47
8.5	Idade da barreira	47
8.6	Fósseis	48
8.6.1	Iconofósseis.....	48
8.6.2	Moldes de conchas	49
8.6.3	Madeira.....	49
8.6.4	Foraminíferos.....	51
8.7	Associação de fácies e interpretação paleoambiental	52
8.7.1	Associação de fácies	52
8.7.1.1	<i>Shoreface</i> inferior (LS).....	54
8.7.1.2	<i>Shoreface</i> média (MS).....	56
8.7.1.3	<i>Shoreface</i> superior (US)	56
8.7.1.4	Praia subaérea e inframaré, <i>foreshore</i> , (F).....	57
9	Discussão e conclusão	57
10	Referências bibliográficas.....	65
Anexo I	- Sondagens	76
I.I	Fotografias dos testemunhos de sondagens S01 e S02	77

I.I.I Descrição do testemunho de sondagem S01	78
I.I.II Descrição do testemunho de sondagem S02	80
I.II Fotografia do testemunho de sondagem S03	81
I.III Fotografias dos testemunhos de sondagens S04, S06 e S07	85
I.III.I Descrição do testemunho de sondagem S04	86
I.III.II Descrição do testemunho de sondagem S06	87
I.III.III Descrição do testemunho de sondagem S07	87
I.IV Fotografia do testemunho de sondagem S5 (Souza 2005)	89
I.V Fotografia dos testemunhos de sondagens 11, 12 (Lessa 2000).....	90
I.VI Fotografia dos testemunhos de sondagens 13 e 17 (Lessa 2000).....	91
Anexo II - Datação ¹⁴ C.....	92
II.I Datação 14C de amostra de madeira	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudo, Mapa das barreiras holocênica e pleistocênica.....	3
Figura 2: Cronoestratigrafia orbital.	11
Figura 3: Sistemas de barreiras-lagunas da costa do Rio Grande do Sul.	18
Figura 4: Modelos de costas progradantes.....	19
Figura 5: Modelo evolutivo progradacional com nível estável, Tucurry.	20
Figura 6: Geometria e estratigrafia dos depósitos costeiros dominados por ondas.....	21
Figura 7: Estágios evolutivos para o setor Cananéia-Iguape durante o Pleistoceno.....	22
Figura 8: Estágios evolutivos na região entre Cananéia e Morro da Juréia durante.....	23
Figura 9: Estágios evolutivos na região do Morro da Juréia e a Barra do Una durante.	23
Figura 10: Esboço geológico do perfil transversal da costa do Rio Grande do Sul.	24
Figura 11: Perfil transversal das barreiras de Praia de Leste, Paraná.....	25
Figura 12: Preparação da sondagem com vibro-testemunhador.....	26
Figura 13: Área de estudo, localização das cavas, perfis e sondagens.	27
Figura 14: (a) nivelamento; (b) marca de maré alta indicada pelo mangue.....	28
Figura 15: a) Preparação de coleta de sedimentos no testemunho S03	30
Figura 16: Areia quartzosa, grossa, mal selecionada, com grânulos de quartzo.....	32
Figura 17: Intercalação de areia quartzosa fina e grossa, mal selecionada.	32
Figura 18: Lama com bioturbação (Fb), areal das Ilhas III.	33
Figura 19: Perfil esquemático com as sondagens 11, 12, 13 e 17.	34
Figura 20: Sondagens por vibrocore n° 11.	34
Figura 21: Sondagem por vibrocore S5.....	35
Figura 22: Fácies areia com estratificação cruzada <i>swaley</i> (Ssw).....	37
Figura 23: Principais paleocorrentes nas estratificações cruzadas <i>swaleys</i> (Ssw).....	37
Figura 24: Fácies areia com estratificação cruzada tabular (Sp).....	38
Figura 25: Principais paleocorrentes nas estratificações cruzadas planares (Sp).....	38
Figura 26: Fácies (St) associada a (Ssg).....	39
Figura 27: Principais paleocorrentes nas estratificações cruzadas acanaladas (St).	40

Figura 28: Principais paleocorrentes nas estratificações cruzadas sigmóides (Ssg).....	40
Figura 29: Fácies areia com estratificação cruzada sigmóide (Ssg).....	41
Figura 30: Areia com ondulações, <i>ripples</i> (Sr), associada com sigmóide (Ssg) e lama em <i>drapes</i> (Fd).	42
Figura 31: Fácies areia maciça (Sm) em contato com a fácies lama maciça (Fm).....	43
Figura 32: Associação de fácies areia com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sli) e acanalada (St).	44
Figura 33: Principais paleocorrentes nas fácies (Sli).	44
Figura 34: Fácies areia com acamamento <i>flaser</i> (Sf), no (S03).....	45
Figura 35: Fácies lama com <i>linsen</i> (Fl) alternadas com fácies lama em <i>drape</i> (Fd).....	46
Figura 36: Intraclastos de argila clara.	46
Figura 37: (a) Molde de concha de bivalve (Sli); (b) e (c) tubos de <i>Ophiomorpha</i>	48
Figura 38: Tronco coletado na lama maciça do areal das Ilhas III.	50
Figura 39: Análise de lenhos.	51
Figura 40: Foraminífero <i>Blymasphaera brasiliensis</i> nos sedimentos de (S03).	52
Figura 41: Perfis indicando associações de fácies e os fósseis.	53
Figura 42 Perfil esquemático do sistema marinho raso dominado por ondas e influenciado por maré.	54
Figura 43: Distribuição dos principais perfis estratigráficos e das sondagens.	55
Figura 44: Perfil esquemático dos sistemas estuarino/lagunar dominado por maré e marinho raso dominado por ondas e influenciado por maré.	59
Figura 45: (a) sedimentos <i>shoreface inferior</i> (LS) holocênicos do testemunho S5 (Souza 2005); (b) sedimentos estuarino/lagunares (EL) pleistocênicos do testemunho S5 (Souza 2005); (c) sedimentos de <i>shoreface inferior</i> (LS) do testemunho S03; (c1) ampliação de (c).	60
Figura 46: Mapa esquemático dos sistemas estuarinos/lagunar dominado por maré e marinho raso dominado por ondas e influenciado por maré.	62
Figura 47: Testemunhos de sondagem S01 e S02.....	77
Figura 48: Testemunhos de sondagem S03.	81
Figura 49: Testemunhos de sondagem S04, S06 e S07.	85
Figura 50: Testemunhos de sondagem S5.	89
Figura 51: (a) sondagem 11, (b) sondagem 12.....	90
Figura 52: (c) sondagem 13, (d) sondagem 17.....	91

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Subestágio isotópico marinho 5e (OIS 5e) na costa brasileira.	13
Tabela 1: Relação das sondagens na região de Paranaguá.	26
Tabela 2: Localização das sondagens.....	30
Quadro 2: Fácies identificadas nos afloramentos e testemunhos de sondagens da barreira pleistocênica.....	36
Quadro 3: Resultados das datações ¹⁴ C de amostras provenientes dos sedimentos e amostras de madeira da barreira pleistocênica paranaense.	47

RESUMO

Este trabalho descreve as fácies e propõe um modelo de evolução para o setor da barreira pleistocênica paranaense, localizada nas proximidades da cidade de Paranaguá. Na área do estudo existem cavas de extração de areia na barreira pleistocênica nas proximidades da cidade de Paranaguá, que possibilitaram a observação direta de afloramentos. Ali a barreira pleistocênica é constituída por argila, silte, areia fina a média, pobremente selecionada, com grãos subarredondados, grânulos e até pequenos seixos. As principais fácies identificadas nos afloramentos da barreira pleistocênica foram: areias com estratificação cruzada *swaley* (Ssw), areias com estratificação cruzada planar (Sp), areias com estratificação cruzada acanalada (St), areias com estratificação cruzada sigmóide (Ssg), areias com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sli), areia com marcas onduladas (Sr), areia maciça (Sm), areia com acamamento *flaser* (Sf), lama com acamamento *linsen* (Fl) e lama maciça (Fm), lama em *drapes* (Fd) e lama bioturbada (Fb). Tubos, moldes de conchas e fragmentos de madeira e detritos vegetais também foram identificados em algumas fácies. A fácies (Ssw) é composta por areia fina a grossa, pobremente selecionada e com grãos subarredondados. Moldes de conchas de bivalves e marcas onduladas simétricas também foram identificados. As fácies (Sp) e (Ssg) são compostas por areia fina a média com seixos pequenos a médios e lama maciça em *drapes*. As fácies (St) e (Sf) são compostas por areia fina a média. Sob as fácies arenosas da barreira ocorrem fácies (Fl), (Fm) e (Fb). A fácies (Fm) em alguns locais se apresenta muito bioturbada e com troncos, fragmentos de troncos e raízes transportadas. As associações de fácies *shoreface* inferior (Sf, Fm, Fl, Fb, Sr); *shoreface* médio (Sli, Sp, Sr); *shoreface* superior (Sp, Sli, St, Ssg, Ssw) e *Foreshore* (Sli, St) e as direções de paleocorrentes com vetores de direção preferencial para NE, permitiram interpretar que um setor da barreira estudado, estaria associado à progradação lateral de um esporão. A direção de crescimento do esporão seria para noroeste, e estaria localizado nas proximidades de um *inlet*.

ABSTRACT

This work aims to describe the facies and to propose an evolutionary model for the Paraná Pleistocene barrier, located near of Paranaguá town. The facies descriptions were performed at sand exploitation quarries where it was possible to see and describe outcrops. In the studied area the Pleistocene barrier is composed by fine to medium sand, with granule and gravel, poorly selected and subrounded shape. The identified facies in Pleistocene barrier were: swaley cross stratification sand (Ssw), tabular cross stratification sand (Sp), trough cross stratification sand (St), sigmoidal cross stratification sand (Ssg), low angle cross stratification sand (Sli), sand with ripples (Sr), massive sand (Sm), flaser lamination (Sf), massive mud with linsen (Fl) and massive mud (Fm), drapes (Fd) and bioturbated mud (Fb). Tubes, borrows, shell moulds, trunks and root fragments and vegetal debris were also identified in some facies. The (Ssw) facies is composed by fine to coarse sand, poorly selected with subrounded grains. Shell moulds and symmetrical ripples were also identified. The (Sp) and (Ssg) facies are composed by fine to medium sand with very fine to medium pebbles and mud drapes. The (St) and (Sf) facies are composed by fine to medium grain sand. Below the sandy facies barrier (Fl), (Fm) and (Fb) facies have been found. In some places the (Fm) facies are highly bioturbated, with traces of stem, roots and stem fragments, as well as vegetal debris. The associations of low (Sf, Fm, Fl, Fb, Sr), medium (Sli, Sp, Sr) and superior shoreface (Sp, Sli, St, Ssg, Ssw), Foreshore (Sli, St) and paleocurrent directions suggest that the barrier, at the studied sector, developed as a spit that grew northwestward over an estuarine inlet.

1 Introdução

Para compreender a evolução das planícies costeiras deve-se considerar principalmente as respostas dos sistemas costeiros às variações do nível relativo do mar, que são um dos fatores que comandaram a sua evolução. Na costa brasileira há evidência de pelo menos dois níveis marinhos altos durante o período Quaternário, um no Pleistoceno Superior (120.000 anos) onde o mar atingiu cerca de 8 ± 2 m acima do nível atual (Martin *et al.* 1988) e outro no Holoceno (5.000-5.400 anos) que teria alcançado $2,5 \pm 1,0$ m acima do atual (Angulo *et al.* 2008).

A planície costeira paranaense tem largura máxima aproximada de 55 km, e é constituída por barreiras com alinhamento NNE/SSW formadas durante períodos de mar mais alto que o atual no Pleistoceno tardio e no Holoceno (Angulo 1992a, 2004). O sistema de barreiras do Holoceno foi estudado por Souza (2005), e a plataforma estudada por Veiga (2006); ambos detalharam a composição, estruturas, conteúdo malacológico, fácies e associação de fácies sedimentares da barreira holocênica e da plataforma continental.

A barreira pleistocênica paranaense teve estudos pioneiros realizados por Bigarella (1947,1966); e foi delimitada no mapeamento do Quaternário do litoral paranaense por Angulo (1992a, 2004).

Os afloramentos, geralmente, restringem-se aos 3 ou 4 m superiores dos terraços, sendo a parte inferior acessível por sondagens e métodos indiretos (GPR). Cavas de extração de areia na barreira pleistocênica localizadas a oeste da cidade de Paranaguá, possibilitaram a observação direta dos afloramentos. Situados entre as cotas +9 e -4 m, em relação ao nível médio do mar atual. Esses afloramentos tem até 100 m de continuidade lateral e 10 m de altura. Complementarmente foram realizadas sete sondagens com vibrotestemunhador a partir do fundo das cavas. Assim, pode-se alcançar a cota -8,2 m, o que permitiu acesso a 17,2 m da barreira pleistocênica.

2 Objetivos

O objetivo principal do estudo foi caracterizar as associações de fácies da barreira pleistocênica, determinar os processos, ambientes e, reconstruir a paleogeografia do litoral nas proximidades da cidade de Paranaguá.

Como objetivos específicos propõem-se:

- a) descrição e interpretação das associações de fácies sedimentares da barreira pleistocênica;
- b) identificação do conteúdo fóssilífero (restos de troncos, restos vegetais e tubos);
- c) identificação dos sistemas deposicionais da barreira pleistocênica;
- d) reconstrução paleogeográfica e paleoambiental da barreira pleistocênica;
- e) definição da idade e paleonível durante a construção da barreira pleistocênica na área de estudo.

3 Área de estudo

A área estudada abrange as cavas do município de Paranaguá. Este setor da planície costeira foi mapeado por Angulo (1992a, 2004) como planície costeira com cordões litorâneos do Pleistoceno (figura 1).

A planície tem largura máxima aproximada de 55 km, e é constituída por barreiras com alinhamento NNE/SSW formadas durante períodos de mar mais alto que o atual no Pleistoceno tardio e no Holoceno (Angulo 1992a, 2004). Os trabalhos de Bigarella (1946, 1965) e Maack (1960) descreveram de modo abrangente as principais características da geografia física e das unidades geológicas da planície costeira. Outro estudo muito importante foi a realização do trabalho da Comissão da Carta Geológica do Paraná, no final da década de 60, ao publicar uma série de mapas geológicos da região, na escala 1:70.000, que resultaram de levantamentos sistemáticos sobre toda a faixa litorânea do Paraná.

Na parte norte da área de estudo estão localizadas sete cavas de extração de areia, que em conjunto, totalizam 4,5 mil m² de área. Foram anexados ao estudo quatro sondagens por vibrotestemunhador de Lessa (2000) e uma de Souza (2005), com o objetivo de ampliar ainda mais os estudos da barreira pleistocênica na planície costeira do estado do Paraná, totalizando uma área de estudo de aproximadamente 486 km².

4 Conhecimentos prévios do litoral paranaense

4.1 Clima

As variações climáticas comandam a velocidade dos ventos e o regime de chuvas, e estão diretamente relacionadas aos processos oceanográficos que afetam a zona costeira. Ondas e correntes costeiras são controladas pelas frentes frias, regime dos ventos e pela Zona de Convergência Intertropical do Atlântico (ZCIT), (Dominguez 2009).

O clima na área de estudo pode ser classificado como tipo Cfa de Köppen, descrito como clima subtropical úmido, mesotérmico. A temperatura média do mês mais quente está acima de 22° C, e a temperatura do mês mais frio entre 3° e 18° C. O clima é sempre úmido, com chuvas bem distribuídas durante o ano todo (Ipardes, 2001). A média da precipitação registrada na estação meteorológica localizada em Antonina (2.517,6 mm) é superior à de Guaraqueçaba (2.364,8 mm), e ambas são maiores que precipitação registrada em Morretes (1.894,0 mm). O número de dias com chuva por ano é semelhante entre Antonina (205 dias) e Guaraqueçaba (207 dias), e relativamente mais alto que Morretes (195 dias) (Ipardes 2001). As menores precipitações ocorrem no final de outono e inverno, nos meses de abril e agosto. Os maiores volumes de chuva ocorrem no verão, nos meses de dezembro a março (Ipardes 2001).

4.2 Ventos

O regime dos ventos é controlado pela influência da região Zona de Convergência Intertropical do Atlântico (ZCIT), e pela passagem de sistemas frontais. Predominam ventos dos setores ENE, E, ESSE e SE, com intensidade média de 4 m/s.

O sistema de brisa na região é bastante relevante, sendo detectadas amplitudes de até 2 m/s nos meses de novembro a março (Camargo & Marone 1995; Camargo *et al.* 1996).

4.3 Ondas e marés

A circulação nas baías de Paranaguá e Antonina é basicamente regida pelas correntes de maré e pelo aporte sazonal de água doce (Knoppers *et al.* 1987). Aos efeitos dessas forçantes somam-se ainda as influências exercidas pela forma do sistema estuarino, pela salinidade e circulação da região costeira adjacente (Kjerfve, 1990; Miranda 1996). Marone & Jamiyanaa (1997) classificam a maré do Complexo Estuarino de Paranaguá como micro maré, predominantemente semidiurna com desigualdades diurnas, sendo a amplitude média de 1,4 m em situação de quadratura e 1,7 m em períodos de sizígia. O regime de ondas possui dois sistemas preferenciais ao atingir a costa litorânea, proveniente de ENE e de SSE/SE, com um período médio de 11 segundos e altura média de 1,8 m (Portobrás 1983). O sistema de ondas SSE/SE está relacionado à passagem de sistemas meteorológicos frontais que ocasionam as ondas de tempestades. É comum a ocorrência de eventos de alta energia que trazem mudanças significativas no perfil praial. Tais eventos segundo Quadros (2002), são intensificados pelo aumento da agitação marítima ocasionada pela trajetória dos centros de pressão e conseqüentes vórtices ciclônicos, pela magnitude das massas de ar envolvidas nestes fenômenos, e pelo aumento na incidência de sistemas meteorológicos frontais.

4.4 Vegetação

A cobertura vegetal no litoral do estado do Paraná é constituída basicamente por duas unidades florísticas: a) as formações pioneiras sob influência marinha (restinga e herbácea), flúvio marinha (mangue) e fluvial (herbácea); b) a Floresta Ambrófila Densa, mais restrita e localizada (Klein 1984). A vegetação herbácea e arbustiva localizada na planície costeira abrange agrupamentos vegetais influenciados direta ou indiretamente pelo mar e estão localizados ao longo dos rios. Sob a influência das marés

desenvolvem-se manguezais, cuja a espécie dominante é a siriúba (*Avicennia schaueriana*). Além da siriúba, também é freqüente o mangue-de-cortume ou mangue-sapateiro (*Languncularia racemosa*), o mangue-charuto ou mangue-vermelho, também chamado de mangue-verdadeiro (*Rhizophora mangle*) e o capim-praturá (*Spartina alterniflora*) que forma um denso cinto herbáceo característico de águas um pouco mais profundas que o mangue, (Klein 1984).

4.5 Morfologia

De acordo com o conceito de Philips (2007) “*the perfect landscape*”, Domingues (2009) propôs uma classificação dos tipos costeiros, na qual a costa brasileira pode ser dividida em seis tipos: (a) Costa arenosa tipo *strike-fed* do Rio Grande do Sul; (b) Costa de alto relevo (*high-relieve*) do Sudeste do Brasil; (c) Costa com *dip-fed* dominada por ondas do Leste do Brasil; (d) Costa com falta de sedimentos (*sediment starved*) do nordeste do Brasil; (e) Costas com *rifts* do Mesozóico: Camumu - Recôncavo (Bahia) e Bacia Potiguar (Rio Grande do Norte) e (f) Enseadas de maré (*tidal embayment*) do Amazonas.

A planície costeira de Paranaguá está inserida no tipo (b) Relevo Alto do Sudeste Brasileiro. Esta zona costeira é caracterizada por uma grande escarpa, a cadeia de montanhas da Serra do Mar, que bordeja a linha de costa paranaense.

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), um estuário de planície costeira (Angulo 1992a), possui dois eixos principais: o eixo leste-oeste (L-O), representado pelas baías de Paranaguá e Antonina, e o eixo sul-norte (S-N, mais precisamente>NNL-SSO), representado pelas baías das Laranjeiras, Guaraqueçaba e Pinheiros, conectadas através de diversos canais de maré. Segundo Suguio *et al.* (1985), toda a faixa litorânea da costa brasileira foi submetida a oscilações do nível médio do mar, ocorridas durante o Quaternário. As formas cumulativas resultantes são representadas por planícies litorâneas arenosas, com estuários e lagunas recortando o terreno. Grande parte da planície costeira paranaense é constituída por dois terraços marinhos, interpretados por Lessa *et al.* (2000), como sistema laguna-ilha barreira, que progradam em pelo menos duas fases, quando o nível médio do mar esteve mais elevado que o

atual. No Pleistoceno tardio (120.000 anos), quando o nível do mar estaria a +8,0 m (\pm 2 m), e no Holoceno (5.100 anos), + 2,5 m (\pm 0,5 m), (Lessa *et al.* 1998; Angulo *et al.* 1999).

4.6 Principais unidades geológicas

A área de estudo compreende dois domínios geológicos principais: rochas do embasamento e diques juro-cretáceos associados, e a cobertura sedimentar cenozóica.

4.6.1 Rochas do embasamento

Conforme trabalho de síntese sobre a Geologia do estado do Paraná (Mineropar 1989), as rochas do embasamento que afloram na forma de morros na área estudada, pertencem ao escudo, e podem ser divididas em sete unidades principais: (a) complexo granulítico Serra Negra do Arqueano; (b) complexo gnáissico migmatítico costeiro do Proterozóico Inferior; (c) suíte granítica do Proterozóico Inferior; (d) granitos alcalinos e subalcalinos do Cambriano; (e) rochas intrusivas básicas da era mesozóica, diabásios e dioritos, que ocorrem sob a forma de um enxame de diques.

4.6.2 Cobertura sedimentar

A cobertura sedimentar cenozóica da região litorânea do estado do Paraná pode ser dividida em dois tipos principais: sedimentos continentais e costeiros (Angulo 2004). Os continentais incluem depósitos atribuídos a leques aluviais com idades de Mioceno Inferior ao Holoceno, depósitos associados a vertentes, tais como tálus e colúvios e depósitos fluviais do Quaternário. Os sedimentos continentais da Formação Alexandra (fluxos gravitacionais com restos de troncos e detritos) são do Mioceno Inferior. Leques e cones aluviais do Plio-Quaternário, e depósitos de tálus, colúvios e sedimentos fluviais do Quaternário. Sedimentos costeiros do Pleistoceno Superior e Holoceno incluem os da planície costeira com cordões litorâneos e planície paleoestuarina. Os depósitos atuais são representados por planície de maré, fundos rasos, deltas de maré, dunas, depressões intercordões e praias (Angulo 2004).

4.7 Evolução geológica da planície costeira

Zalán & Oliveira (2005) propuseram que a Serra do Mar, assim como a Serra da Mantiqueira, estiveram envolvidas em dois eventos geológicos de deslocamento vertical. No Cretáceo tardio (89-65 Ma), a Serra do Mar teve um grande soerguimento, o que deu origem ao *megaplateau* (com aproximadamente 300.000 km²). No Cenozóico (58-20 Ma) ocorreu um colapso, originando *riffts* paralelos à costa. Atualmente alguns desses *riffts* estão localizados na plataforma continental. Durante o Quaternário, a posterior inundação dessas áreas, que é formada estruturalmente por uma alternância de *grabens* e *horts*, originou a zona costeira paranaense. A Serra do Mar configura-se como uma falha escalonada, e todas as grandes baías e estuários ao longo da zona costeira são *riffts* afogados (Zalán & Oliveira 2005).

Segundo Angulo (1992a) a origem do estuário da Baía de Antonina e de todo o complexo estuarino de Paranaguá está inserida na evolução geológica da zona costeira paranaense, e pode começar a partir da deposição dos sedimentos mais antigos conhecidos na região, os da Formação Alexandra (Mioceno Inferior). Nessa época, existia na região um sistema de leques aluviais em que predominavam fluxos densos de lama e detritos. O relevo da época deveria ser equivalente ao da Serra do Mar para propiciar a formação de leques. Evidências palinológicas indicaram um clima mais seco que o atual. Também deveria possibilitar a umidade para manter corpos d'água permanentes para a formação de depósitos de matéria orgânica. Esse sistema de leques aluviais foi submetido a diversas mudanças do nível relativo do mar, com transgressões e regressões através dos anos, moldando a interface oceano/continente (Angulo 1992a).

No máximo da transgressão pleistocênica, há aproximadamente 120.000 anos o mar alcançou praticamente o sopé da Serra do Mar e os sedimentos continentais ali acumulados (Angulo 1992a). Martin & Suguio (1986) e Martin *et al.* (1988) estimaram o máximo da transgressão pleistocênica em 8m ± 2m acima do nível atual. Porém, no Paraná não existem reconstruções precisas sobre este máximo. Segundo Angulo *et al.* (2002), os indicadores de paleoníveis marinhos durante o Pleistoceno tardio indicam apenas que o mar atingiu níveis superiores a 4,0 m.

Segundo Angulo *et al.* (2002), há aproximadamente 5.000 e 5.800 anos ^{14}C cal AP, o nível relativo do mar era superior ao atual, desta forma, na parte central e sul do litoral paranaense, formaram-se ilhas barreiras que isolaram corpos lagunares. Segundo Angulo (1993a), com o progressivo descenso do nível relativo do mar, outros cordões holocênicos foram se dispendo paralelamente aos anteriores do Pleistoceno, formando a planície costeira. Como consequência da descida do nível relativo do mar, extensas áreas de fundos rasos transformaram-se em planícies de maré e áreas emersas.

Desta maneira, as planícies costeiras formaram-se durante os períodos interglaciais com níveis marinhos próximos ou mais altos que o atual. As características morfológicas das planícies formadas em diferentes ciclos transgressivo-regressivos freqüentemente são semelhantes, e as datações, constituem uma importante ferramenta para diferenciá-las (Angulo *et al.* 2002). No Paraná a diferenciação das planícies costeiras do Holoceno e do Pleistoceno foi motivo de controvérsia (Martin *et al.* 1988; Angulo 1992a, Angulo *et al.* 2002; Lessa *et al.* 2000).

Quando o mar atingiu um nível aproximadamente igual ao atual, a configuração da costa era semelhante à de hoje. As duas principais regressões seguidas de um máximo do nível do mar criaram duas feições geomorfológicas distintas: a zona superior, a oeste de Paranaguá, que constitui um afogamento de um paleovale; e a zona inferior, leste de Paranaguá, que é caracterizada como uma grande planície de cordões litorâneos, constituindo uma barreira (Angulo 1992a).

A evolução do estuário da baía de Paranaguá demonstra uma zonação similar com outras barreiras e estuários de planícies costeiras, (Darymple *et al.* 1992; Nichols *et al.* 1991; Allen & Posamentier 1993; Nichols *et al.* 1994).

4.8 Planícies de maré

Segundo Reineck & Singh (1973), as planícies de maré (*tidal-flats*) se desenvolvem ao longo de costas de baixo declive, com marcado ciclo de marés, onde há suficiente sedimento disponível e não há forte ação das ondas. Angulo (1990) propôs a utilização do termo planície de maré, pois nela ocorrem diversos ecossistemas. No Paraná, Angulo (1990, 1992b) identificou sete ecossistemas

diferentes que compõem a planície de maré: manguezal, marismas, bancos arenosos e areno-argilosos, manguezal com *Acrostichum* e *Hibicus*, zona de *Cladium*, pântano-de-maré e brejo-de-maré. A maior extensão das planícies de maré é ocupada pelos manguezais. Nas partes mais internas da baía, nos locais onde existe importante aporte fluvial, os marismas e manguezais são substituídos por brejos e pântanos de maré.

4.9 Planície paleoestuarina

Segundo Angulo (1992a) e Angulo & Absher (1992), os sedimentos paleoestuarinos estão amplamente distribuídos no litoral paranaense. Eles formam áreas planas com altitudes baixas. A altura dessas áreas vai desde o limite máximo alcançado pelas marés até 5 ou 6 m sobre este nível. Em numerosos locais, foram encontradas junto a sedimentos paleoestuarinos abundantes conchas de moluscos.

As planícies paleoestuarinas possuem idades que vão do médio-tardio Holoceno até o Pleistoceno tardio. As planícies pleistocênicas, com uma elevação em torno de +5m, foram mapeadas nas proximidades da ilha do Superagüi, e nas imediações do município de Paranaguá, e imediações da cidade de Guaratuba até o limite com o estado de Santa Catarina, geralmente na forma de planície costeira com cordões litorâneos. Angulo e Absher (1992) descreveram as areias como muito finas a médias podendo conter restos vegetais, incluindo troncos e folhas. De acordo com as descrições realizadas nos depósitos pelos autores, esses depósitos podem ser correlacionáveis com o conceito de fácies de planície e canais de maré.

5 Subestágio isotópico marinho 5e (OIS 5e)

5.1 Conceito

Os isótopos de oxigênio são uma das mais importantes ferramentas estratigráficas para correlacionar sedimentos marinhos do Pleistoceno. Quanto mais água é concentrada na forma de gelo nas calotas polares e geleiras, menos água há nos oceanos. A razão dos isótopos estáveis ^{16}O e ^{18}O nas águas varia de acordo com a salinidade, temperatura e o volume de gelo. As variações cíclicas dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ aprisionadas em estruturas biogênicas possibilitaram a determinação de uma escala de

tempo absoluta de alta resolução, a partir da qual se pode correlacionar os dados de $\delta^{18}\text{O}$ das estruturas biogênicas que estão entre os sedimentos. Os estágios isotópicos marinhos são frequentemente utilizados para definir os intervalos glaciais (altos valores de $\delta^{18}\text{O}$) e interglaciais (baixos valores de $\delta^{18}\text{O}$) (figura 2).

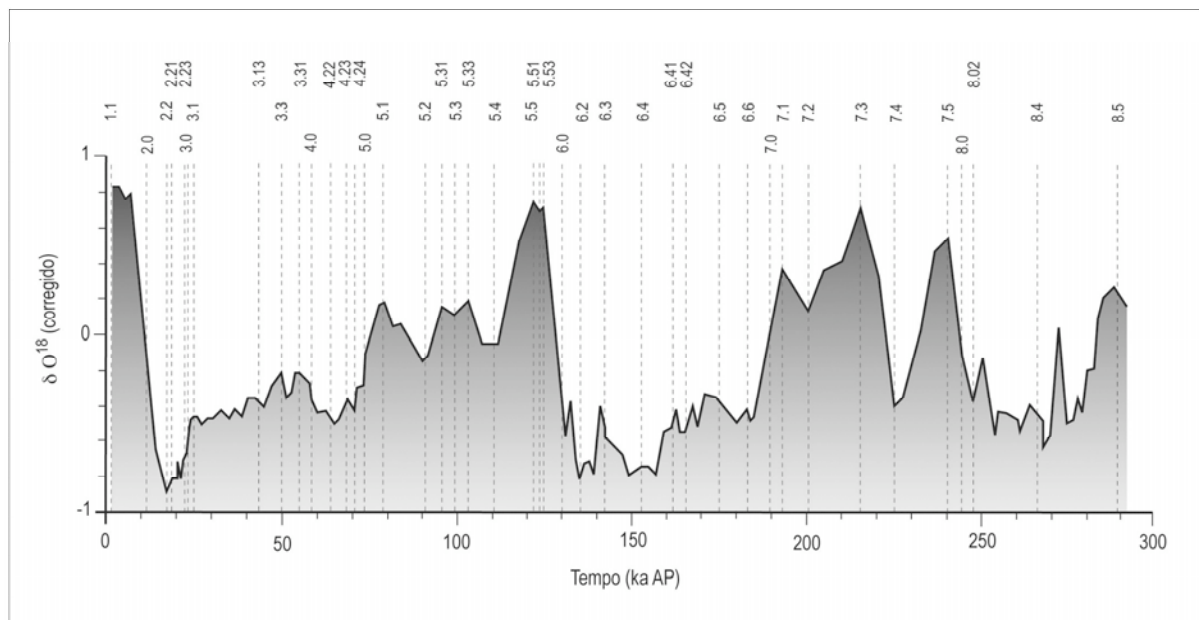


Figura 2: Cronoestratigrafia orbital corrigida para a composição do registro isotópico depositado no fundo dos oceanos no decorrer dos últimos 300.000 anos. Modificado de Martison *et al.* (1987).

Durante os 420.000 anos A.P. os últimos cinco níveis de mar alto estão relacionados aos períodos interglaciais (OIS 1, 5, 7, 9 e 11) (Harty & Kaufman 2000). O registro sedimentar de alguns desses episódios estão presentes ao longo da costa do Brasil, exceto na porção norte (Dominguez 2009).

Denominado OIS 5e (*Oxigene Marine Isotopic Stage 5e*), de aproximadamente 120.000 anos A.P., corresponde ao período interglacial de nível de mar alto no Pleistoceno, que foi um dos mais importantes eventos geológicos do Quaternário, e ficou registrado ao redor do mundo nas regiões costeiras como feições deposicionais/erosivas localizadas a poucos metros acima do nível do mar atual (Shackleton 1969; Bloom *et al.* 1974; Neumann & Moore 1975; Dodge *et al.* 1983; Shackleton 1987; Muhs *et al.* 1994; Muhs 2006; Tomazelli & Dillenburg 2007).

5.2 O último interglacial e o nível relativo dos oceanos

De acordo com os estudos de Hearty *et al.* (2007), as principais províncias de afloramentos com datações por idades radiométricas de corais e/ou RAA (racimização de aminoácidos) do OIS 5e são: Itália, Espanha, e Tunísia, as ilhas de Bermudas, Barbados, Hawaii e as regiões do oeste e sudoeste da Austrália. Todos com excelentes sítios com paleoníveis marinhos e datações isotópicas do OIS 5e registraram o nível de mar alto dos oceanos.

Uma importante curva do nível do mar para o último interglacial foi construída a partir dos detalhes das estruturas de afloramentos e recifes localizados nas Bahamas (Neumann & Hearty 1996; Hearty & Kaufman 2000). Essa curva comparou o nível do mar no OIS 5e com o histórico dos níveis relativos do mar localizados na Ilha das Bermudas (Land *et al.* 1967), do Mediterrâneo (Hearty 1987), do sudeste da planície costeira dos Estados Unidos (Hollin & Hearty 1990) e Hawaii (Hearty *et al.* 2000). Nas Bahamas as oscilações do nível relativo do mar durante o último período Interglacial, foram detectadas por datação radiométrica de recifes e espeleotemas fósseis. As idades radiométricas juntamente com a posição morfoestratigráfica definiram os depósitos pertencentes ao último interglacial (Hearty & Neumann 2001).

5.3 Pleistoceno tardio na costa brasileira

Segundo Tomazelli & Dillenburg (2007), ao longo da costa brasileira, o último período interglacial, excluindo o atual, estaria representado principalmente por terraços marinhos, e indicam pequenas variações na elevação acima do nível do mar atual, de +6 a +8 m (Bittencourt *et al.* 1979); 7 ± 1 m (Martin *et al.* 1982) e 8 ± 2 m (Suguio *et al.* 2005). Apesar de não existir em datações por isótopos estáveis ao longo de toda a costa brasileira, outros métodos de datação e correlação foram utilizados para relacionar o período OIS 5e aos sedimentos costeiros e marinhos.

De acordo com Suguio *et al.* (2005), nos estados da Bahia, Sergipe e Alagoas são representados pela Penúltima Transgressão. Nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro é denominado Transgressão Cananéia (Formação Cananéia). No Paraná foi denominada Barreira Pleistocênica, em Santa Catarina corresponde ao Estágio 2; e no

Rio Grande do Sul, Terraço III, ou Sistema Depocisional Laguna-Barreira III, Formação Itapoá, quadro 1.

Quadro 1: Subestágio isotópico marinho 5e (OIS 5e) na costa brasileira.

Estados	Bahia, Sergipe, Alagoas	São Paulo Rio de Janeiro	Paraná	Santa Catarina	Rio Grande do Sul
Pleistoceno	Penúltima Transgressão	Transgressão Cananéia (Fm. Cananéia)	Barreira Pleistocênica	Estágio 2	Barreira III

A Transgressão Antiga descrita por Bittencourt *et al.* (1979) foi seguida por um novo evento transgressivo mundialmente reconhecido, quando o nível relativo do mar em grande parte do Brasil, esteve entre 8 ± 2 m acima do atual. Esse episódio é conhecido no Estado de São Paulo como Transgressão Cananéia ou Canainense (Suguio & Martin 1978) ou como Penúltima Transgressão, entre Bahia e Pernambuco (Bittencourt *et al.* 1979).

Na região de Olivença (BA), um recife de coral foi encontrado sobre terraços arenosos que indicam que o mar estava mais alto que o nível relativo atual. Cinco amostras de aragonita provenientes do coral *Siderastrea*, coletados randomicamente de uma pedreira abandonada, foram datadas pelo método $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$, resultando 123.500 ± 5.700 anos A.P. (Bernat *et al.* 1983), os quais coincidem com os níveis de mar alto em várias regiões do mundo (OIS 5e) (Bloom *et al.* 1974; Chapell & Shackleton 1986). Durante esse intervalo de tempo datado, o nível relativo do mar ficou 8 ± 2 m acima do nível atual. Barreto *et al.* (2002) apresentou datações por luminescência de depósitos de areias (117-110 ka) localizados no nordeste brasileiro, Rio Grande do Norte, os quais foram correlacionados ao OIS 5e. Depósitos de areia correlatos foram descritos por Tomazelli e Dillenburg (2007) no Rio Grande do Sul.

No Rio de Janeiro, constituem parte da barreira arenosa que deu origem ao sistema de lagunas fluminenses entre Cabo Frio e Niterói. Em São Paulo, aparecem desde Caraguatatuba (litoral norte) até Cananéia (litoral sul), onde também isolaram sistemas lagunares, hoje em grande parte preenchidos pela sedimentação mais moderna (Suguio *et al.* 2005).

5.4 Subestágio isotópico marinho 5e (OIS 5e) no litoral de Santa Catarina

No estado de Santa Catarina, Souza *et al.* (2001) identificaram registros do Estágio 2: Máximo da Transgressão de 120.000 anos A.P. Durante o máximo, na região de Itapoá, foram observadas duas situações: (a) ao sul, na área da baía de São Francisco, os terraços pleistocênicos estão em contato com o sopé da serra, sugerindo que a barreira durante a transgressão foi anexada ao continente (*main land beach barrier* no conceito de Roy *et al.* 1994); e (b) na parte norte, próximo à região de Mina Velha, os depósitos paleoestuarinos existentes entre a parte mais interna dos terraços pleistocênicos e os depósitos continentais sugerem a existência de ilhas-barreira.

De acordo com Horn (2006), o Pleistoceno superior da planície costeira da ilha de São Francisco do Sul é caracterizado pela presença de depósitos marinho praias intermaré e lagunar, recobertos por sedimentos eólicos. Esses depósitos estão numa posição mais interiorizada na planície costeira com relação à linha de costa atual, e de acordo com suas altitudes, foram definidos como pleistocênicos. Desta forma, os cordões litorâneos correspondem aos depósitos finais do Pleistoceno superior.

Segundo Paisani (2004), as idades determinadas por datação de sedimentos por Luminescência Opticamente Estimada (LOE) das seqüências de camadas praias localizadas no balneário Praia Mole, Ilha de Santa Catarina, coincidem com os dois últimos eventos transgressivos registrados ao longo da costa brasileira. O depósito da rampa estabeleceu-se a partir da metade do último interglacial, meados do OIS 5e, até o atual interglacial, estágio 1.

5.5 Subestágio isotópico marinho 5e (OIS 5e) no litoral do Rio Grande do Sul

Segundo Tomazelli & Villwock (2005), o Sistema Laguna-Barreira III pode ser correlacionado aos depósitos praias e marinhos reconhecidos em muitas outras regiões costeiras e identificados com o evento de mar alto correspondente ao OIS 5e, ou seja, com o último pico interglacial pleistocênico. Segundo os autores, os sedimentos do Pleistoceno tardio no Rio Grande do Sul correspondem ao Sistema Laguna-Barreira III, que isolou o Sistema Lagunar Patos-Mirim. Vários ambientes deposicionais do tipo

lagunar, paludial e fluvial estabeleceram-se nas depressões isoladas pelas Barreiras II e III. Mapeados como Membros Taim e Santa Vitória da Formação Chuí, e como Formações Itapoá, são correlacionáveis com os gerados pela Transgressão Cananéia descrita por Suguio & Martin (1978) ou pela Penúltima Transgressão de Bittencourt *et al.* (1979), descritos ao longo de toda costa brasileira. Os depósitos da Transgressão Cananéia são arenosos, muito semelhantes aos do Rio Grande do Sul, destacando-se a presença de tubos fósseis de *Callichirus* e as estruturas primárias bem preservadas. Tomazelli & Dillenburg (2007) descreveram mais depósitos correlacionáveis ao Pleistoceno tardio na costa do estado do Rio Grande do Sul.

5.6 Subestágio isotópico marinho 5e (OIS 5e) no litoral do Paraná

No litoral paranaense, Angulo (1992a) e Angulo & Absher (1992) mapearam planícies paleoestuarinas do Pleistoceno tardio. Essas planícies pleistocênicas têm uma elevação em torno de +5 m, situadas ao norte da cidade de Paranaguá. Sua composição é de areia muito fina a fina, com abundantes restos vegetais, incluindo folhas e troncos. Dois conjuntos de estruturas sedimentares foram identificados nestes depósitos, e interpretados como de planície e canal de maré.

Angulo (2004) delimitou a Planície costeira com cordões litorâneos e planície paleoestuarina do Pleistoceno Superior ou Tardio no mapa do Cenozóico do litoral do Estado do Paraná. Os sedimentos paleoestuarinos estão amplamente distribuídos no litoral paranaense, ocorrem em áreas planas com altitude inferior a 8 metros e não apresentam feições de alinhamentos visíveis. Predominam areias, ocorrendo subsidiariamente areias argilosas, areias siltosas e silte argiloso, de seleção entre bem e muito pobremente selecionados (Angulo 1992 a,b). Próximo ao canal do Varadouro foi identificado uma área de sedimentos paleoestuarinos contendo troncos e detritos vegetais. A datação de um fragmento de tronco forneceu idade além do alcance do ^{14}C (>40.000 anos A.P., CENA-121), o que permitiu atribuir os depósitos ao ciclo transgressivo-regressivo do último interglacial no Pleistoceno (Angulo *et al.* 2002).

A distinção entre a barreira pleistocênica da holocênica foi baseada na formação composicional e granulométrica e datações ^{14}C das planícies costeiras, que indicaram

variações sobre o nível do mar (Angulo 1992a, Souza 1999, Lessa *et al.* 2000, Angulo *et al.* 2002). O contato entre as duas barreiras foi determinado por datações de radiocarbono e sondagens por GPR (Souza 2005).

6 Barreiras costeiras

As regiões litorâneas, ou costeiras, são áreas de transição entre os continentes e os oceanos, e estão sob condições de equilíbrio dinâmico. As barreiras são acumulações de areia, podendo ocorrer grânulos e até seixos. Possuem uma forma alongada, formadas pela influência da ação das ondas, maré e vento. Dispõem-se paralelas à linha de costa, acima do nível do mar atual, geralmente seccionadas por canais de maré (*inlets*) de livre acesso com o oceano, podendo formar uma laguna costeira (Woodroffe 2003).

De acordo com Dillenburg & Hesp (2009), a barreira é definida como uma estrutura formada pela acumulação de areia, grânulos, seixos, conchas e porções de material orgânico acumulado devido à ação de ondas, marés e ventos. Possui uma parte subaérea e outra subaquosa. A porção subaérea, dependendo da posição, pode ser permanentemente ou parcialmente exposta acima do nível do mar durante marés altas. Algumas possuem grande variedade de tipos, variando sua configuração de pequenas ilhas *offshore*, a anexadas ou cavalgantes no próprio declive do substrato continental.

6.1 Classificações de barreiras

Existem vários tipos de classificações. Zenkovich (1967) reconheceu as formas anexadas, incluindo praias e promontórios; formas livres, incluindo esporões; barreiras aneladas ou de formas múltiplas; formas aneladas incluindo tombolos e formas não anexadas, incluindo ilhas-barreiras. Barreiras anexadas compreendem três componentes: (a) o próprio sistema da barreira arenosa com cordões de praias e dunas; (b) lagunas fechadas ou barreira do estuário; e (c) *inlets* ou canais que conectam as barreiras com o mar. As barreiras representam um registro deposicional dos ambientes de praia, antepraia e dunas. A barreira em atividade pode ser

preservada. Observando as linhas de costa reliquiárias, pode-se indicar a posição dos níveis do mar anteriores. Barreiras individuais oferecem somente um breve registro sedimentar durante os quais o nível do mar esteve relativamente estável (*stillstand*) (Reison 1992, Woodroffe 2003).

As barreiras litorâneas constituem o tipo de costa mais comum no limite dos oceanos com os continentes. Na costa leste brasileira, que se estende entre os estados do Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul, os principais tipos de costa. As barreiras podem se apresentar como múltiplos sistemas barreira-laguna, como na costa gaúcha, sul catarinense e fluminense, podendo alcançar 80 km de largura como no Rio Grande do Sul (figura 3); ou formadas por planícies costeiras com cordões litorâneos (*strandplains*), distribuídos ao longo de quase toda a costa leste. No Paraná, a barreira pleistocênica possui aproximadamente 344 km² e até 22 km de extensão transversal na região de Paranaguá (figura 1).

Um novo modelo mais simplificado dos principais tipos de barreiras foi proposto por Dillenburg & Hesp (2009). Segundo os autores podemos dividir as barreiras em: (1) Barreira de esporão progradante. Onde o continente pode ter uma barreira anexada a outras formas de relevo ou separada por uma laguna; (2) Barreiras progradantes podendo ser divididas em (2.1) com campos de dunas ou planícies de cordões litorâneos ou (2.2) com múltiplas fases de campos de dunas transgressivos; (3) Barreira agradacional; (4) Barreira retrogradacional ou ilhas barreiras; (5) Barreira retrogradacional e/ou anexada à barreira transladante e (6) Barreira anexada com dunas parabólicas formando um promontório como acesso para o campo de dunas (*headland bypass dunefield*).

6.2 Modelos de barreiras

Vários foram os modelos de evolução propostos para entendimento da evolução das barreiras costeiras. Os primeiros modelos evolutivos foram propostos para costas com nível do mar em ascensão com base na estratigrafia de costas transgressivas atuais. Porém, como no registro sedimentar é pouco comum a preservação de depósito de barreiras transgressivas, a comprovação destes modelos evolutivos tem-se baseado nos resultados de modelos numéricos (Cowell & Roy 1988, Cowell *et al.* 1991).

Geralmente os depósitos que têm melhores condições de preservação, quando não expostos á erosão subaérea, são os progradacionais, normalmente associados a períodos regressivos (Field & Tricardi 1991, Isla 1998).

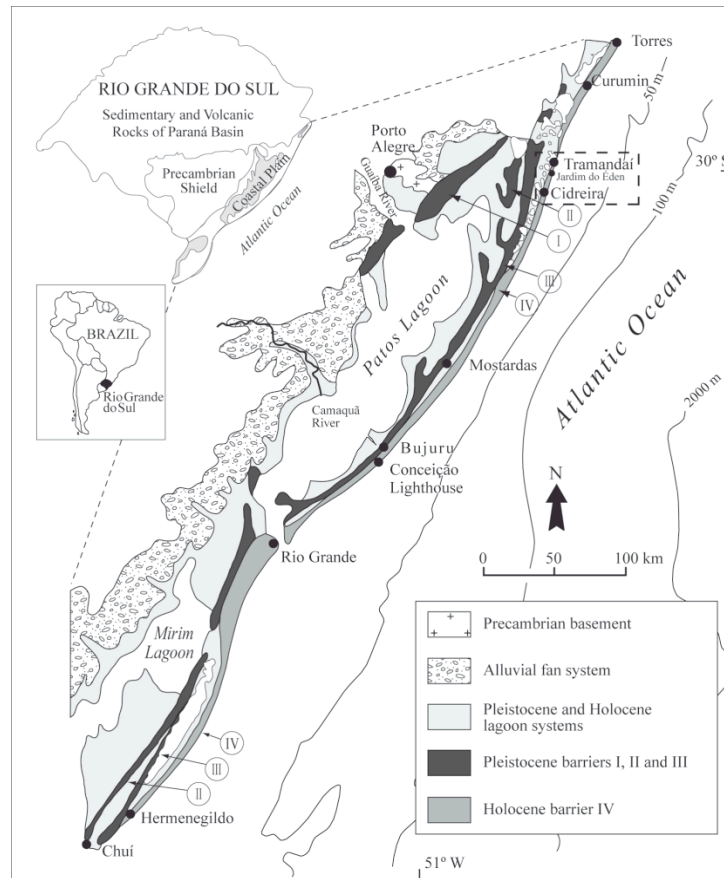


Figura 3: Sistemas de barreiras-lagunas da costa do Rio Grande do Sul (Dillenburg *et al.* 2003).

Segundo Davis & Clifton (1987), nos sistemas com nível do mar em ascensão, o potencial de preservação está diretamente relacionado à velocidade de subida do nível relativo do mar, sendo a maior preservação quando a subida for rápida, e menor ou nula, quando a subida for lenta. Dentre os modelos evolutivos existentes pode-se citar o de Nayarit na costa pacífica do México (Curray *et al.* 1969), o da Ilha de Galveston no golfo do México (McCubbin 1992) e o da Ilha Caledesi, na costa oeste da Flórida (Hayes *et al.* 1974), considerados como modelos de costas progradantes, com nível de mar estável ou com pequena ascensão (figura 4).

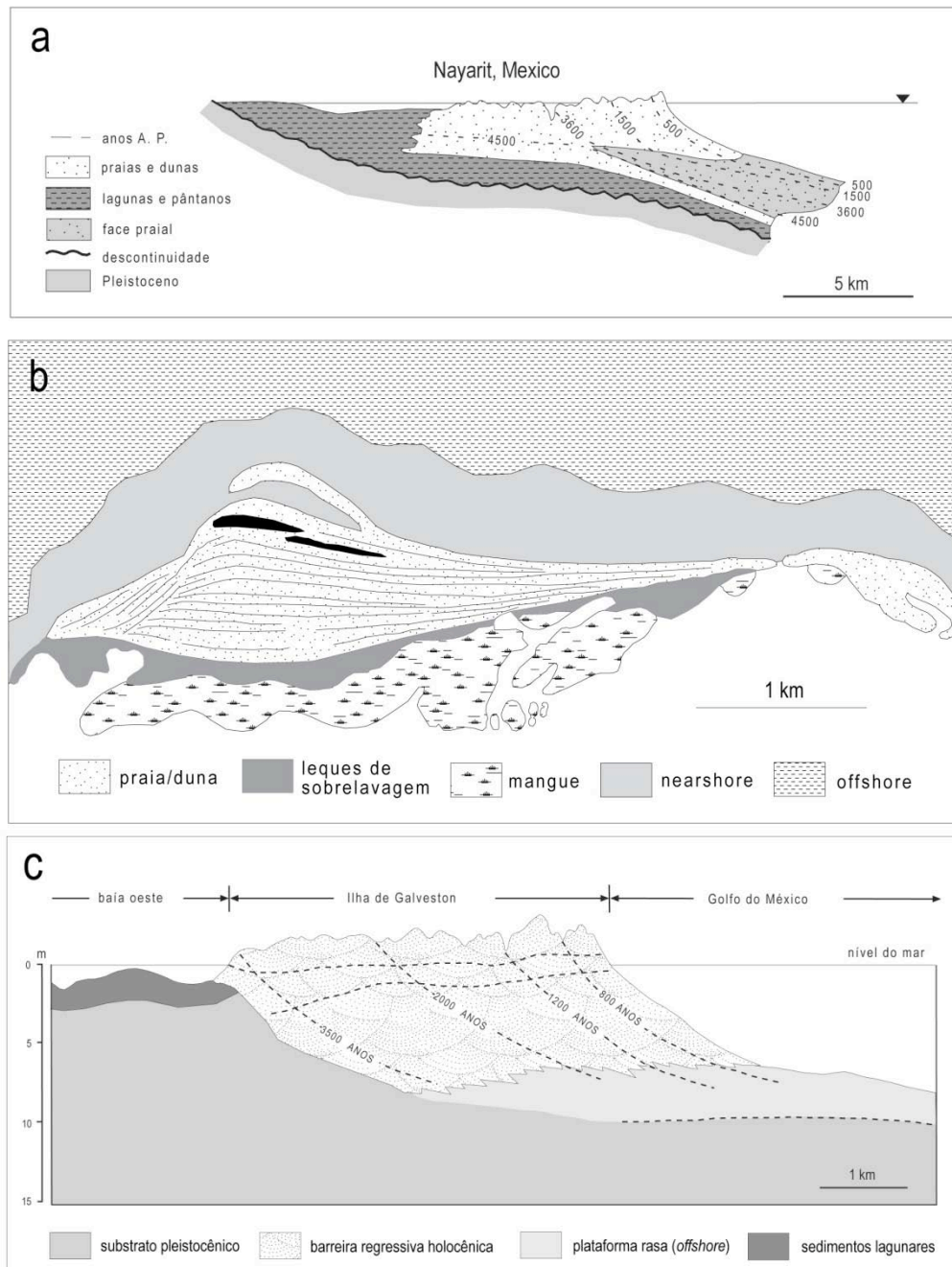


Figura 4: Modelos de costas progradantes, com nível do mar estável ou com pequena ascensão. (a) Nayarit na costa pacífica do México (Curry *et al.* 1969), (b) Ilha Caladesi, na costa oeste da Flórida (Hayes *et al.* 1974), (c) Ilha de Galveston no golfo do México (Bernard *et al.* 1962 *apud* McCubbin 1992).

Modelos progradacionais com nível de mar em queda também foram propostos, para as áreas de Tucurry no sudeste australiano (Roy *et al.* 1994), de Bucasia na costa

nordeste australiana (Masselink & Lessa 1995) e de Caleta Valdés no sul da Argentina (Fasano *et al.* 1984, Isla 1998) (figura 5).

Fazendo uma síntese dos modelos evolutivos, Roy *et al.* (1994) propuseram uma classificação de barreiras, de acordo com a resultante da interação das taxas de variação do nível do mar, do balanço de sedimentos e do espaço de acomodação. Desenvolvido na costa sudeste da Austrália, reconheceram três tipos básicos: (a) estacionários, (b) transgressivos e (c) regressivos (figura 6).

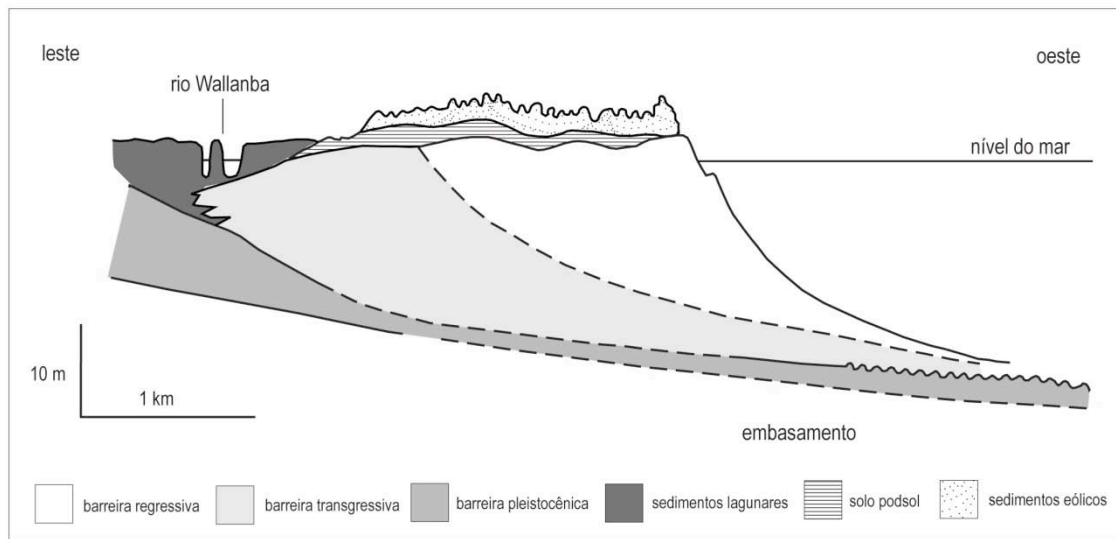


Figura 5: Modelo evolutivo progradacional com nível estável, Tucurry no sudeste australiano, modificado de Roy *et al.* 1994.

Subdividiram os depósitos transgressivos em dois subtipos: os de barreira transgressiva (*transgressive barrier*), e os de lençol arenoso transgressivo (*transgressive sand sheet*). Os depósitos transgressivos foram subdivididos em seis subtipos: barreiras de dunas transgressivas (*transgressive dune barrier*); barreira progradante ou planícies costeiras com cordões litorâneos (*prograded barrier or strandplain*); de esporões (*stationary barrier*); de barreira retrogradante (*receded barrier*); de praia anexada (*mainland beach*); e os de barras arenosas plataformais próximas ao costão (*shelf sand body*). Os depósitos costeiros regressivos são caracterizados por um conjunto de cordões litorâneos que se formam paralelamente a linha de costa em um regime descendente do nível de mar.

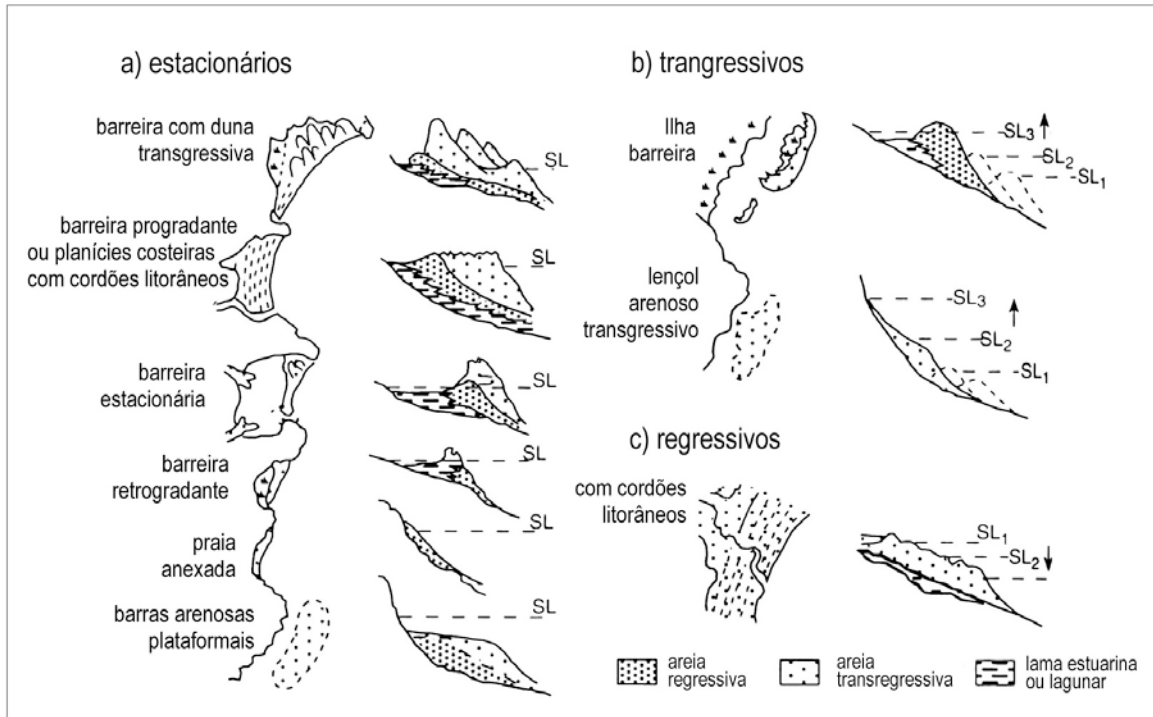


Figura 6: Geometria e estratigrafia dos depósitos costeiros dominados por ondas, propostos com base nos exemplos da costa sudeste da Austrália, (a) estacionários, (b) transgressivos e (c) regressivos, (Roy *et al.* 1994).

6.3 Modelos de barreiras na costa brasileira

Os primeiros trabalhos sobre barreiras na costa brasileira, foram de Bigarella (1946, 1954) na costa paranaense, os de Suguio & Martin (1976a,b 1978) nas costas da Bahia, São Paulo e Rio de Janeiro, o de Martin *et al.* (1983), na costa leste de alagoas até São Paulo, o de Suguio *et al.* (1985) na costa desde Alagoas até Santa Catarina, o de Dominguez *et al.* (1981) nos deltas dos rios São Francisco, Jequitinhonha, Doce e Paraíba do Sul e o de Villwock *et al.* (1986) na costa do Rio Grande do Sul.

Modelos sobre a evolução das barreiras foram apresentados por Martin & Suguio (1975,1976) e Suguio & Martin (1976a), posteriormente mais detalhados para diversos setores da costa de São Paulo por Suguio & Martin (1978) e Martin & Suguio (1986). Nos perfis para o setor de Cananéia-Iguape e Caraguatatuba, os modelos indicaram uma sucessão de camadas do Pleistoceno, que se inicia na base com sedimentos de

origem continental, seguidos de argila transicional, areia marinha transgressiva e, no topo, areia regressiva (figura 7).

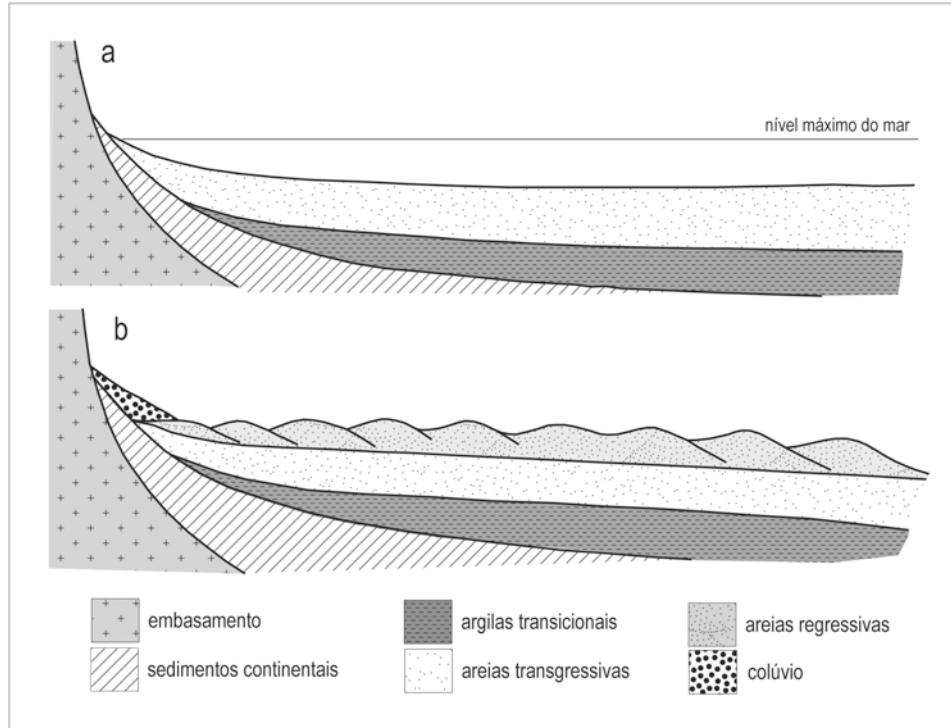


Figura 7: Estágios evolutivos para o setor Cananéia-Iguape durante o Pleistoceno. (a) máximo da transgressão Cananéia, (b) deposição dos cordões litorâneos regressivos após o máximo, modificado de Suguio & Martin 1978.

Na região entre Cananéia e o Morro da Juréia, pode ter ocorrido erosão do substrato pleistocênico durante a transgressão pós-glacial e a formação da barreira regressiva após o máximo do nível do mar (figura 8), e na região do Morro da Juréia e a Barra do Una, pode ter formado uma ilha-barreira durante o máximo, seguido de seqüências progradantes formadas após o máximo até o presente (figura 9).

Suguio & Martin (1976b) reconheceram duas ilhas-barreiras no Holoceno na região de Caraguatatuba, uma após o máximo de 5.000 anos antes do presente (A.P.) e outra após o máximo de 3.200 anos A.P. Posteriormente, Martin *et al.* (1979/1980) apresentaram modelos de evolução das barreiras holocênicas dos litorais paulista, fluminense e baiano, onde distinguiram uma seqüência de areias transgressivas sobrepostas por areias regressivas.

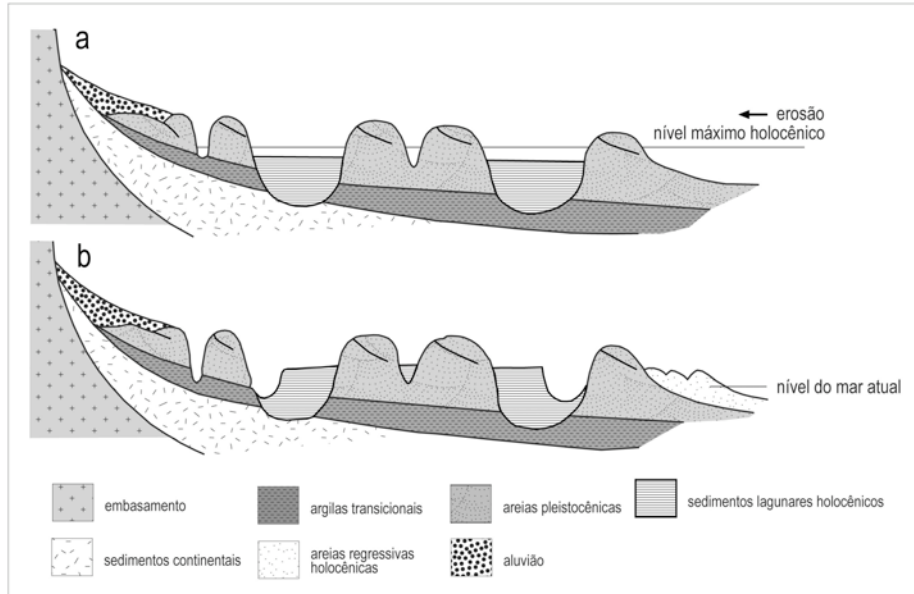


Figura 8: Estágios evolutivos para a região entre Cananéia e Morro da Juréia durante o Holoceno. (a) máximo da transgressão Santos e erosão dos depósitos pleistocênicos, (b) formação da barreira regressiva holocênica após o máximo, modificado de Suguio & Martin 1978.

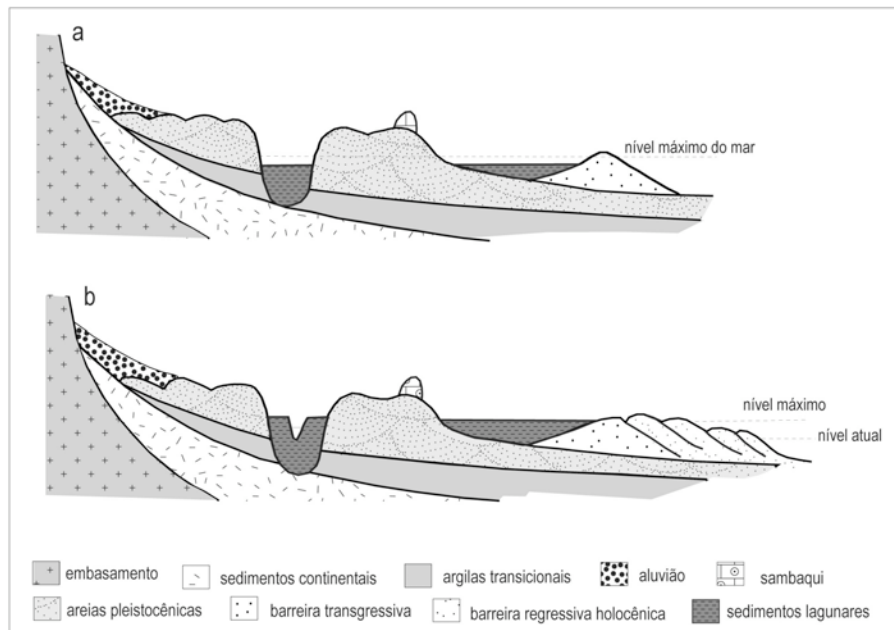


Figura 9: Estágios evolutivos na região do Morro da Juréia e a Barra do Una durante o Holoceno. (a) formação de uma ilha-barreira durante o máximo, (b) depósitos de seqüências progradantes após o máximo até o presente (modificado de Suguio & Martin 1978).

Na costa do Rio Grande do Sul, Villwock *et al.* (1986), apresentaram um esboço geológico do perfil transversal e esquemas da evolução paleogeográfica das barreiras,

onde se observa quatro sistemas laguna/barreira, três do Pleistoceno e um do Holoceno (figura 10).

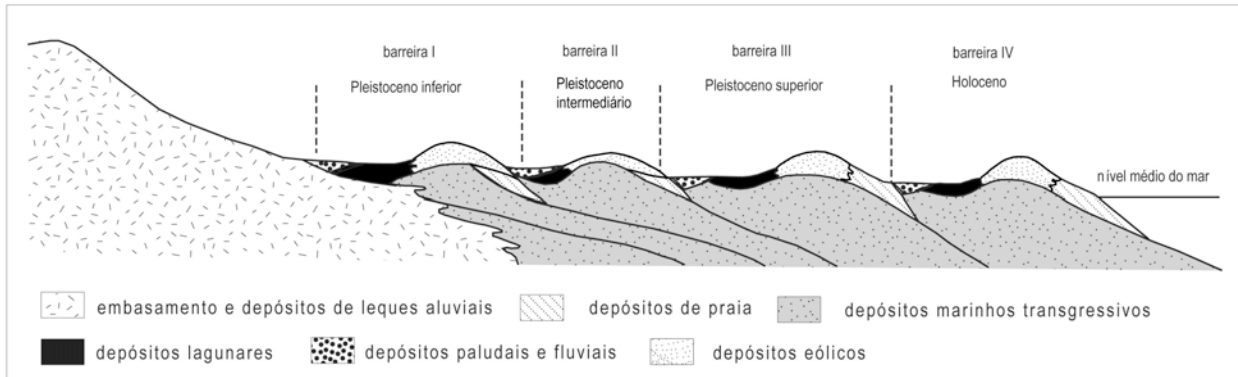


Figura 10: Esboço geológico do perfil transversal da costa do Rio Grande do Sul, segundo Villwock *et al.* 1986.

Dillenburg *et al.* (2000), aplicando a classificação proposta por Roy *et al.* (1994), subdividiram a porção holocênica da costa gaúcha em quatro tipos de barreiras: (a) progradantes, (b) as de dunas transegressivas, (c) as retrogradantes, e (d) as de praia anexada (*mainland beach*).

No litoral do Paraná, Lessa *et al.* (2000) e posteriormente Souza (2005), propuseram o primeiro modelo tridimensional de evolução da planície costeira. Descreveram a porção holocênica da planície, e interpretaram como formada a partir de duas barreiras: (a) uma transgressiva, que teria se deslocado sobre sedimentos lagunares pós-barreira e se chocou com a barreira pleistocênica no final da transgressão, e (b) uma regressiva, que teria se desenvolvido após o máximo, favorecida pela descida de aproximadamente 3,5 m do nível relativo do mar. Segundo os autores, a maior parte da barreira transgressiva foi erodida pelo rio Guaraguaçu, que flui ao longo do contato entre as barreiras pleistocênica e holocênica (figura 11).

Souza *et al.* (2001), a partir do mapeamento da planície costeira de Itapoá, litoral norte de Santa Catarina, e do modelo proposto por Lessa *et al.* (2000), sugeriram que na região de Itapoá, poderiam ter existido ilhas-barreiras e esporões, destacando estes últimos na formação das barreiras localizadas ao norte da Ponta de Itapoá.

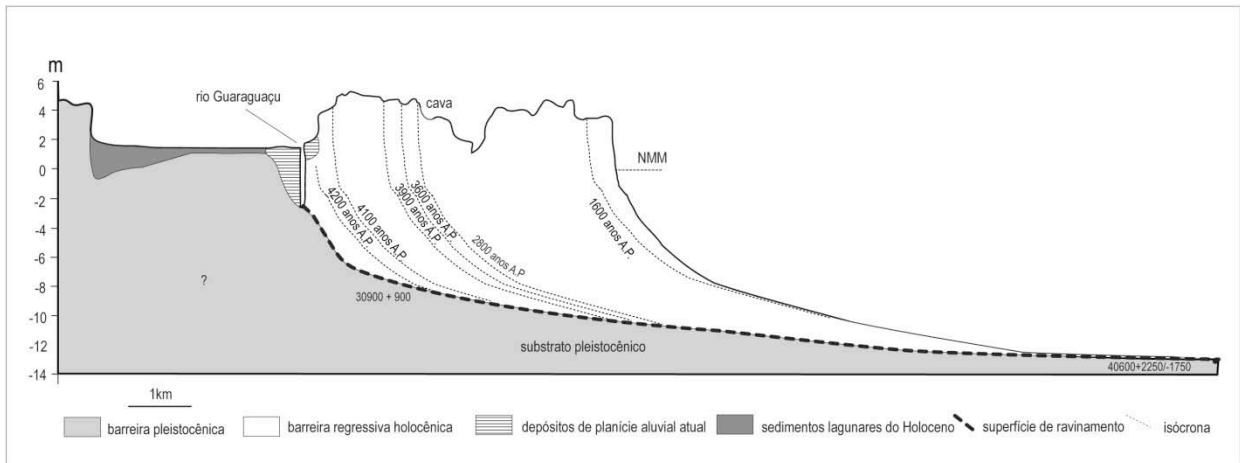


Figura 11: Perfil transversal das barreiras de Praia de Leste, Paraná, e estágios evolutivos das barreiras holocênicas de Paranaguá, (Souza 2005).

7 Materiais e métodos

7.1 Descrição e interpretação das fácies

A interpretação dos dados de descrições de perfis nas cavas de extração de areia e dos dados de descrição dos testemunhos por vibrocore, localizados na região de Paranaguá, possibilitaram a determinação da associação de fácies da barreira pleistocênica paranaense. Foram incorporados também os dados de descrição de perfis e sondagens de Lessa *et al.* (2000) e Souza (2005), localizados nas proximidades da região de Paranaguá e Praia de Leste (figura 2). Juntamente com os dados gerados nesse estudo, complementaram ainda mais as informações sobre a formação e evolução da barreira.

7.1.1 Perfis estratigráficos e sondagens com vibro-testemunhador

Para complementar as descrições dos afloramentos nas cavas de areias, na base de alguns perfis, foram realizadas sondagens de até 6 m de profundidade com vibro-testemunhador. Foram realizadas sete sondagens, utilizando canos de alumínio de 6 m de comprimento, 7,62 cm de diâmetro e 1,27 mm de parede ou espessura, (figuras 12 e 13). Quatro sondagens foram incorporadas de Lessa (2000), números 11, 12, 13 e 17; e a número S5 de Souza (2005).

Os testemunhos de sondagem foram realizados no areal da Ilha III, areal do

Imbocuí e areal E. Silveira. A relação dos furos analisados pode ser observada na tabela 2.

A aquisição dos dados estratigráficos foi realizada mediante descrição de detalhe de sete testemunhos de sondagens (tabela 1). No areal das Ilhas III foram realizadas quatro sondagens (S01, S02, S03 e S04); duas sondagens (S05, S07) no areal do Imbocuí e uma sondagem (S06) no areal da Elza Silveira. Após a identificação das fácies, o passo subsequente foi o agrupamento das mesmas em associações de fácies, definindo os critérios para a interpretação dos sistemas deposicionais envolvidos.



Figura 12: Preparação da sondagem com vibro-testemunhador, (a) pontos S01 e (b) S03, areal da Ilha III, região de Paranaguá.

Tabela 1: Relação das sondagens na região de Paranaguá.

Sondagem	Latitude	Longitude	Cota boca (m)	Profundidade (m)	Localização
S01	25°32'04,07"S	48°34'54,38" W	+ 1,67	1,54	areal da Ilha III
S02	25°31'59,66"S	48°34'56,82"W	- 2,20	3,88	areal da Ilha III
S03	25°32'00,65"S	48°34'58,31"W	- 3,5	7,85	areal da Ilha III
S04	25°32'00,55"S	48°34'56,55"W	- 1,90	4,6	areal da Ilha III
S05	25°32'20,87"S	48°34'42,24"W	+ 3,90	3,03	areal do Imbocuí
S06	25°32'19,12"S	48°34'43,17"W	+ 1,77	1,26	areal E. Silveira
S07	25°32'19,10"S	48°34'43,48"W	+ 4,50	2,62	areal do Imbocuí

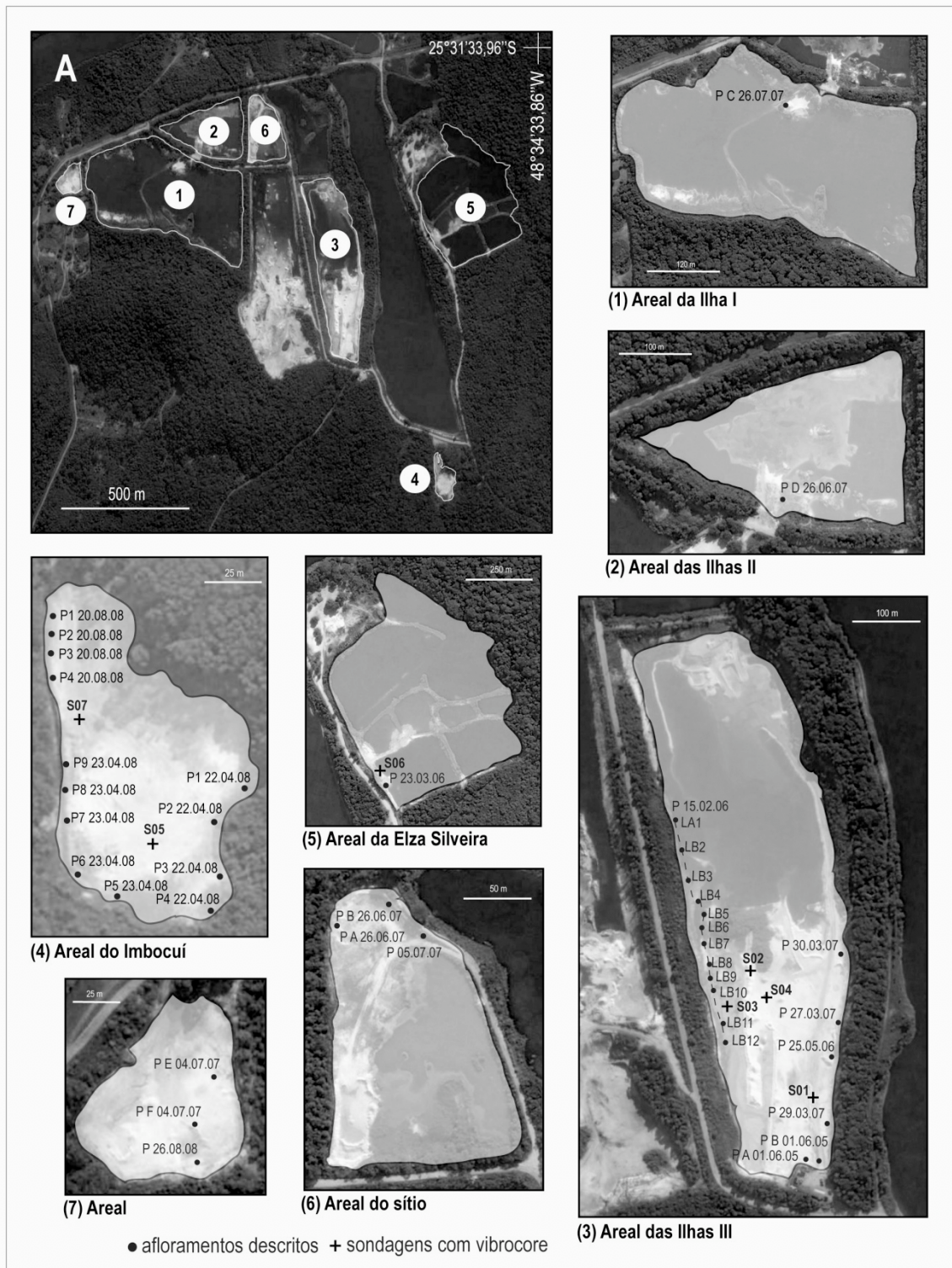


Figura 13: Área de estudo, localização das cavas, perfis e sondagens em Paranaguá. Os pontos de descrição de afloramentos são denominados pela letra (P), seguido da data de descrição. Os locais de sondagens são denominados pela letra (S). No areal das Ilhas III, (L) significa nivelamento da camada de lama.

7.1.2 Dados complementares

As sondagens de Lessa *et al.* (2000) e Souza (2005), situadas nas proximidades da região de Paranaguá e Praia de Leste estão localizadas na figura 1, foram gentilmente cedidas pelos autores para complementar essa pesquisa. As fotografias dos testemunhos das sondagens realizados nas cavas de areia da região de Paranaguá, e as sondagens de Lessa (2000) e Souza (2005), estão disponíveis para eventuais consultas no anexo1.

7.1.3 Nivelamento

O nivelamento foi realizado com nível de precisão e teodolito, utilizando-se com nível de referência para a amarração à marca de maré alta indicada pelo mangue, cota zero m, localizada aproximadamente a três km das cavas de areia (figura 14).

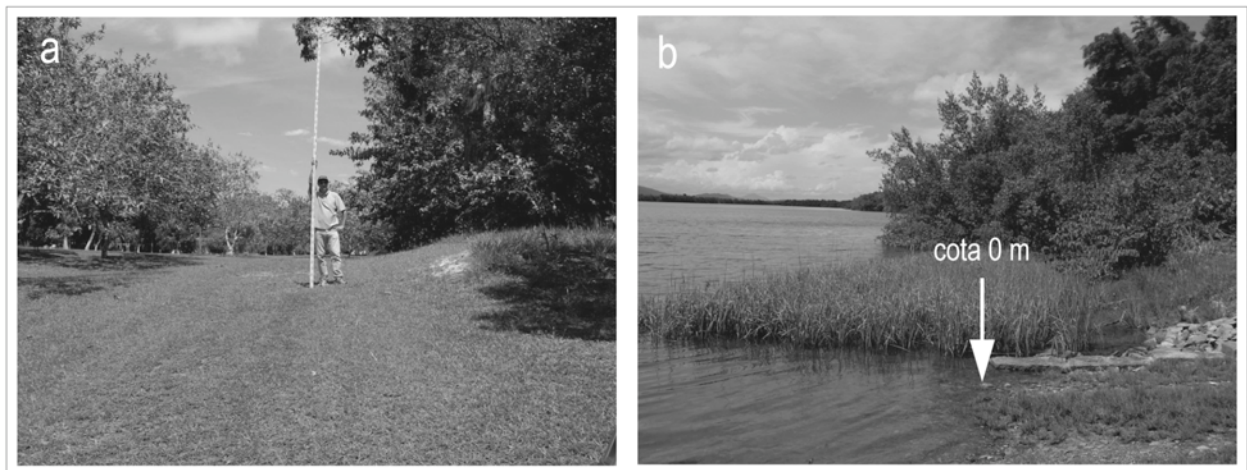


Figura 14: (a) nivelamento; (b) marca de maré alta indicada pelo mangue, cota zero metro.

7.1.4 Análise faciológica

Foram descritos quarenta e quatro afloramentos localizados nas cavas de extração de areia na barreira pleistocênica situadas a oeste da cidade de Paranaguá. Foram descritas em detalhe as fácies, tanto de afloramentos como das sondagens com vibro-testemunhador. A classificação das fácies foi feita com base no código de fácies proposto por Miall (1978, 1999) para ambiente fluvial e no trabalho de Cowan (1991). Nas siglas utilizadas, a letra maiúscula corresponde à classe granulométrica dominante, e as letras minúsculas seguintes, às estruturas. Foram incluídos novos códigos ou

letras quando necessário, mantendo a nomenclatura em inglês, e buscando-se também ocorrências de situações iguais ou similares a existente na barreira Holocênica estudada por Souza (2005). A identificação das fácies sedimentares, suas associações, sucessões e nomenclatura para descrição dos elementos (estruturas, composição, contatos) e dos ambientes, tiveram como base os trabalhos de Reading (1996), Fritz & Moore (1988) e Tucker (2001).

7.1.5 Análises sedimentológicas

Para a análise sedimentológica foram coletadas amostras nas onze fácies descritas, tanto nos afloramentos como nas sondagens, visando à caracterização da variação granulométrica e da micro fauna, foraminíferos e pólenes. As análises foram realizadas pelo método tradicional de pipetagem para as lamas e peneiramento, com o intervalo de 0,5 *phi*, para as areias, segundo métodos utilizados por Giannini (1987). As análises foram realizadas no Laboratório de Estudos Sedimentológicos e Petrologia Sedimentar, da Universidade Federal do Paraná (LabESed-UFPR).

7.2 Identificação do conteúdo fossilífero

7.2.1 Análise de microfósseis

O conteúdo fossilífero de esporos e pólenes das amostras dos afloramentos e sondagens foi enviado para o Laboratório de Micropaleontologia do CEM (Centro de Estudos do Mar), onde foram analisados pela micropaleontóloga MSc. Sibelle Trevisan Disaró e pelo biólogo Daniel Vicente Pupo, do ponto de vista quantitativo e qualitativo. (Figura 15).

Para a identificação de foraminíferos foram separadas amostras nos testemunhos de sondagens S01, S02, S03 e S04, a cada 10 cm, totalizando 113 amostras (tabela 2). Cada amostra tinha volume de 10cm³. Os sedimentos foram lavados em peneira de 63µm e o material retido na peneira foi submetido à secagem em estufa a 60°C. Posteriormente realizou-se a flotação com tricloroetileno para auxiliar na separação dos terrígenos. O material retido na flotação e parte do resíduo foram

examinados sob lupa. Os foraminíferos encontrados foram separados em lâminas para identificação e contagem.

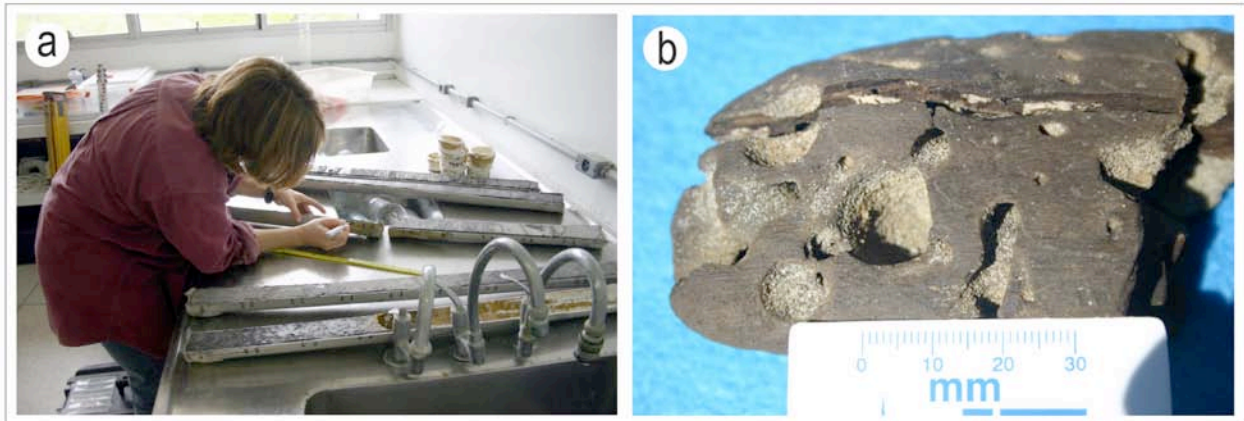


Figura 15: a) Preparação de coleta de sedimentos no testemunho da sondagem S03, para análise de foraminíferos, Laboratório de Micropaleontologia do CEM (Centro de Estudos do Mar); b) pedaço de tronco coletado na camada de lama do areal das Ilhas III, notar arredondamento causado pelo transporte e as perfurações atribuídas a teredinídeos.

Tabela 2: Localização das sondagens, altitude, comprimento e número de amostras coletadas para análise de foraminíferos nas amostras provenientes dos testemunhos do areal das Ilhas III.

Furo	Latitude	Longitude	Altitude da boca (m)	Comprimento (m)	Nº. amostras
S01	25°32'04,07"S	48°34'54,38" W	+ 1,67	1,54	28
S02	25°31'59,66"S	48°34'56,82"W	- 2,20	3,88	17
S03	25°32'00,65"S	48°34'58,31"W	- 3,5	7,85	42
S04	25°32'00,55"S	48°34'56,55"W	- 1,90	4,6	26

7.2.2 Análise de macrofósseis

Restos vegetais de troncos e raízes e amostras de madeira foram enviadas para o laboratório de antracologia do Museu Nacional, Departamento de Geologia e Paleontologia do Setor de Paleobotânica e Paleopalinologia da UFRJ, para reconstrução paleoambiental da área; sob responsabilidade da Dr^a. Rita Scheel-Ybert e MSc. Thaís Gonçalves.

Doze amostras de troncos e raízes provenientes da camada de lama localizada no areal das Ilhas III, fácies lamosas, foram analisadas para identificação antracológica. A preparação do material foi feita por polimento de blocos, em micrótomo, seguindo os três planos fundamentais da madeira (transversal, longitudinal, tangencial e longitudinal

radial). Os blocos foram analisados em microscópio de luz refletida e a identificação do material foi feita de acordo com a estrutura anatômica da madeira.

7.2.3 Datação de troncos e madeiras

Uma amostra de madeira proveniente do areal das Ilhas III, região de Paranaguá, extraído de uma camada de lama, fácies (Fm) e (Fb), foi datada pelo método ^{14}C no laboratório do Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA, da Universidade de São Paulo. Para tratar de eliminar todo vestígio de material contaminante a amostra foi submetida a um ataque agressivo ao conteúdo orgânico.

Na sondagem S5, de Souza (2005), foram obtidas amostras provenientes da lama com conteúdo orgânico da barreira pleistocênica, nas quais foram determinadas as idades pelo método do ^{14}C , método convencional realizado também no Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA, da Universidade de São Paulo.

8 Resultados

8.1. Composição e granulometria

8.1.1. Fração areia

A barreira pleistocênica é constituída principalmente por areia quartzosa fina a média, de grãos moderadamente arredondados, com porcentagens subordinadas das outras frações da areia, e incluindo grânulos e até seixos de quartzo. Argila e silte na forma de *drapes* e intraclastos na forma de “bolas” de lama milimétricas, minerais pesados e minerais placóides de moscovita, compõem a maior parte das fácies descritas na área de estudo.

Em alguns afloramentos constatou-se a presença de areia quartzosa grossa, mal selecionada, minerais pesados, silte, grânulos e seixos de quartzo. Essa areia com maior granulação pode estar intercalada com areias mais finas, na base das estratificações cruzadas tabulares e sigmoidais. Também foram observados nas areias, tons marrons e/ou amarelos, devido a processo epigenético, migração de óxidos de ferro e/ou matéria orgânica (figuras 16 e 17).

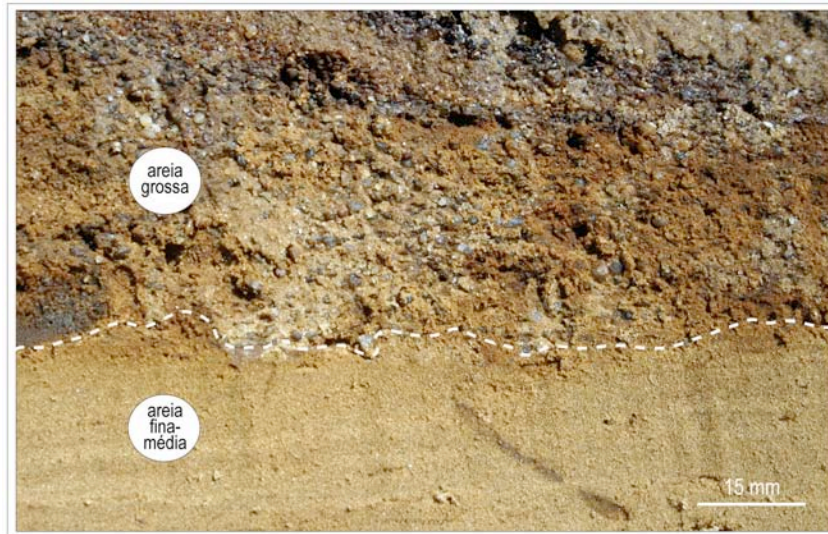


Figura 16: Areia quartzosa, grossa, mal selecionada, com grânulos de quartzo em contato erosivo com areia fina a média.

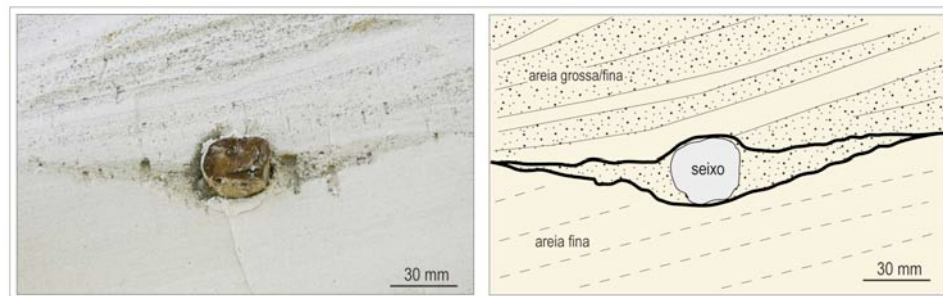


Figura 17: Intercalação de areia quartzosa fina e grossa, mal selecionada, em contato com areia fina bem selecionada. Notar o seixo de 32 mm no centro da fotografia.

8.1.2 Fração lama

Fácies com predomínio de lama ocorrem em várias profundidades e associadas com outras fácies arenosas. Porém, disposta na forma de uma camada descontínua localizada na porção inferior da barreira, entre as cotas -6 a -7 m em relação ao nível médio do mar atual, há o predomínio da facies lamosa. A composição dessas lamas varia de lama maciça, negra, muito plástica, a lama arenosa, com tons cinza claros. Em alguns pontos existe a passagem gradual de lama arenosa para areia quartzosa, fina, bem selecionada, com estruturas *linsen*, *wavy* e de escape. Também foi observado o contato erosivo com areias quartzosas maciças, bem selecionadas. As lamas geralmente são maciças e com locais com intensa bioturbação (figura 18).



Figura 18: Lama com bioturbação (Fb), areal das Ilhas III.

8.2 Espessura da barreira

Os afloramentos da barreira pleistocênica estão localizados entre as cotas +9 e -4 m, em relação ao nível médio do mar atual. Sete sondagens com vibrotestemunhador foram feitas a partir do fundo das cavas, atingindo a cota -8,2 m, totalizando a descrição de 17,2 m de espessura de depósitos da barreira pleistocênica.

As sondagens de Lessa *et al.* (2000) e Souza (2005), incorporadas no estudo, atingiram uma profundidade de até 8,7 m. Desta forma, a espessura da barreira descrita chega a 17,5 m. Na sondagem #11 de Lessa (2000), sedimentos estuarinos holocênicos estão em contato com fácies arenosas de *shoreface* superior. De acordo com Souza (2005), no testemunho de sondagem S5, é possível observar o contato entre a barreira holocênica e a pleistocênica, (figuras 1, 19, 20 e 21).

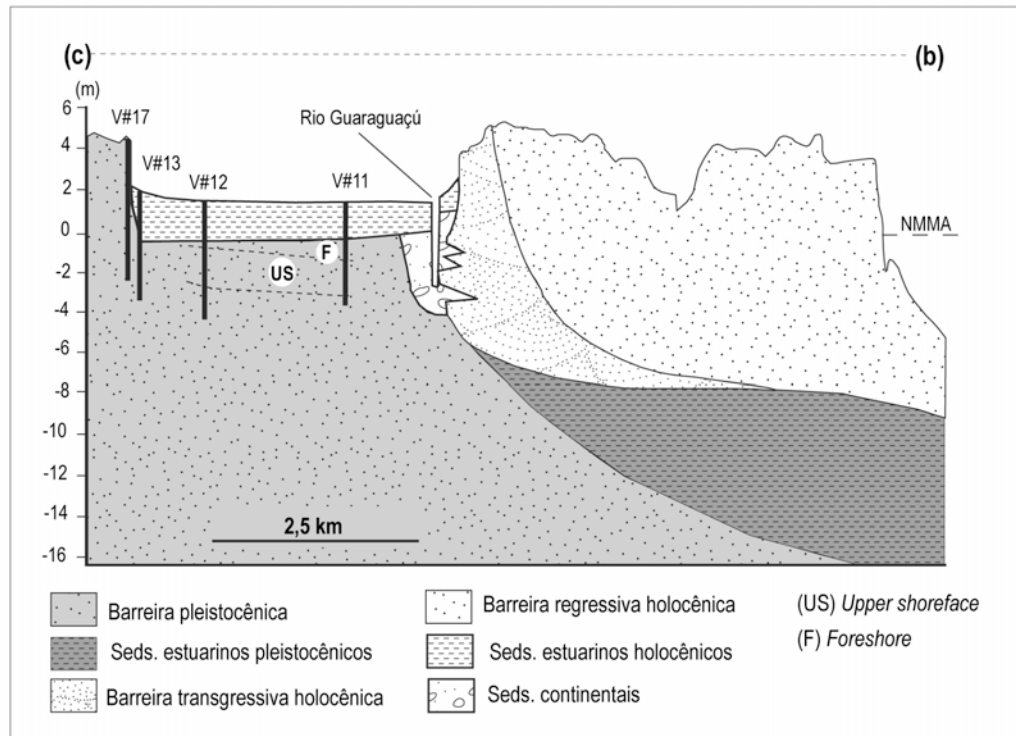


Figura 19: Perfil esquemático com as sondagens 11, 12, 13 e 17 na barreira pleistocênica, (Lessa 2000).



Figura 20: Sondagens por vibrocore n° 11. Sedimentos estuarinos holocênicos em contato com *shoreface* do Pleistoceno, (Lessa 2000). A altura do segmento de cano de alumínio corresponde a 50 cm.

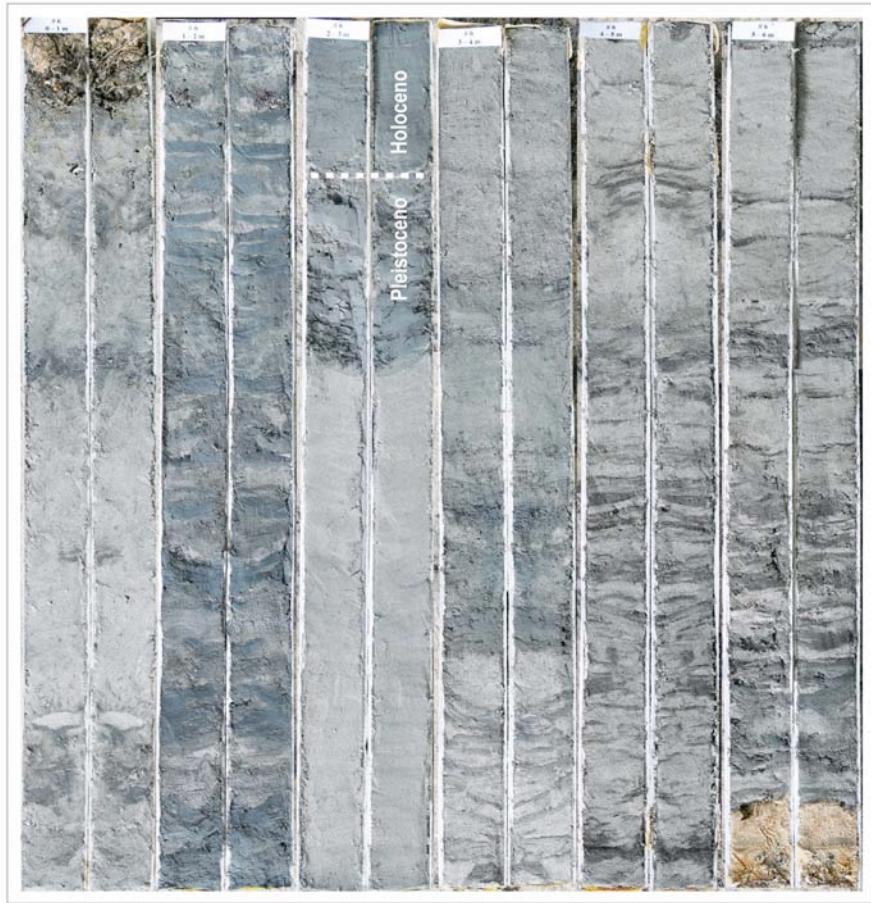


Figura 21: Sondagem por vibrocore S5. Sedimentos de *shoreface inferior* holocênicos em contato com a barreira pleistocênica (Souza 2005). A altura do cano de alumínio corresponde a 1 m.

8.3 Fácies sedimentares

As principais fácies identificadas nos afloramentos e nos testemunhos de sondagens da barreira pleistocênica foram: fácies de areias com estratificação cruzada *swaley* (Ssw), areias com estratificação cruzada planar (Sp), areias com estratificação cruzada acanalada (St), areias com estratificação cruzada sigmóide (Ssg), areias com ondulações e laminação cruzada (Sr), areia maciça (Sm), areias com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sli), areia com acamamento *flaser* (Sf), lama com *linsen* (Fl), lama maciça (Fm), lama em drapes (Fd) e lama bioturbada (Fb). Tubos, moldes de conchas e fragmentos e detritos vegetais também foram identificados nas fácies lama com *linsen* (Fl), lama maciça (Fm) e lama bioturbada (Fb) (quadro 2).

Quadro 2: Fácies identificadas nos afloramentos e testemunhos de sondagens da barreira pleistocênica.

<i>fácies</i>	<i>código</i>	<i>descrição</i>	<i>interpretação</i>	<i>associação</i>
Areia com estratificação cruzada <i>swaley</i>	(Ssw)	Areia fina a média, de bem a moderadamente selecionada, com cristais placóides de moscovitas. <i>Swales</i> e <i>hummockys</i> .	Ondas de grande porte .	(Sli), (St), (Sp).
Areia com estratificação cruzada planar	(Sp)	Areia fina a média, bem a moderadamente selecionada. Paleocorrentes N60° a N310°. Tubos de <i>Ophiomorpha</i> preenchidos por areia fina, atribuídos a <i>Callichirus major</i> .	Migração de lâminas frontais de dunas subaquosas de crista reta a linguóide.	(St).
Areia com estratificação cruzada acanalada	(St)	Areia quartzosa média a grossa, mal selecionada, grãos angulosos a subangulosos e grau baixo de esfericidade.	Migração de dunas subaquosas de crista sinuosa.	(Sr), (Fm) (Fd), (Ssg).
Areia com estratificação cruzada sigmóide	(Ssg)	Areia quartzosa fina a média, bem a moderadamente selecionada, grânulos de quartzo; e argila. As paleocorrentes N10° e N70°.	Migração de dunas subaquosas de crista reta a sinuosa. <i>Drapes</i> de lama sugere a ação de correntes de maré.	(Sr), (Sli), (St), (Sp) e (Fd).
Areias com ondulações, <i>ripples</i>	(Sr)	Areia quartzosa fina a média, moderadamente a bem selecionadas e minerais máficos.	Ondas, originando formas simétricas e correntes unidirecionais, formas assimétricas.	(Fd) e (Ssg).
Areia maciça	(Sm)	Formada por estratos de 20 a 90 cm de espessura, areia quartzosa fina a grossa, mal selecionada, podendo conter grânulos e clastos de quartzo centimétricos. Contato inferior e superior erosivos.	Não foi possível a determinação do processo deposicional.	
Areias com estratificação cruzada de baixo ângulo	(Sli)	Areia quartzosa, fina a média, bem selecionada. Moldes de conchas de bivalves com concavidade para baixo, e tubos de <i>Ophiomorpha</i> preenchidos por areia fina, atribuídos a <i>Callichirus major</i> . Paleocorrentes é NW.	Espraiamento de ondas.	(Ssg), (St), (Sp) e (Ssw).
Areia com acamamento <i>flaser</i>	(Sf)	Argila, silte e areia quartzosa fina a média, bem a moderadamente selecionada.	Fluxo oscilatório gerado por ondas, alternados com momentos de baixa energia.	(Ssg), (Fd) e (Fl).
Lama com <i>linsen</i>	(Fl)	Areia quartzosa fina a média, bem selecionada e com restos vegetais de fragmentos de troncos transportados. <i>linsen</i> . <i>Ophiomorpha</i> atribuídos a <i>Callichirus major</i> .	Decantação com episódicas e fracas correntes trativas.	(Fm), (Sr), (Fl) e (Fd).
Lama maçica	(Fm)	Lama sem estruturas aparentes, plástica e negra.	Decantação.	(Fd) e (Fb).
Lama em <i>drapes</i>	(Fd)	Lama maçica, plástica e negra.	Decantação.	(Ssg), (Sr), (Fm) e (Fd).
Lama bioturbada	(Fb)	Lama com areias quartzosas finas a médias e até grânulos de quartzo. Muito bioturbadas e com restos vegetais de fragmentos de troncos.		(Fl), (Fd) e (Fm).

8.4 Descrição das fácies sedimentares

8.4.1 Areia com estratificação cruzada *swaley* (Ssw)

Esta fácies é constituída por *sets* de até 50 cm de espessura, estratos lenticulares de até 6,5 m de extensão, compostos por areia fina a média, de bem a moderadamente selecionada, com cristais placóides de moscovitas. Em alguns pontos são encontrados detritos vegetais. As estruturas são em sua maior parte compostas por

swales (feições côncavas) e secundariamente por *hummockys* (feições convexas). Nessas estruturas são observadas estratificações cruzadas, com direções preferenciais para NW (figuras 22 e 23).

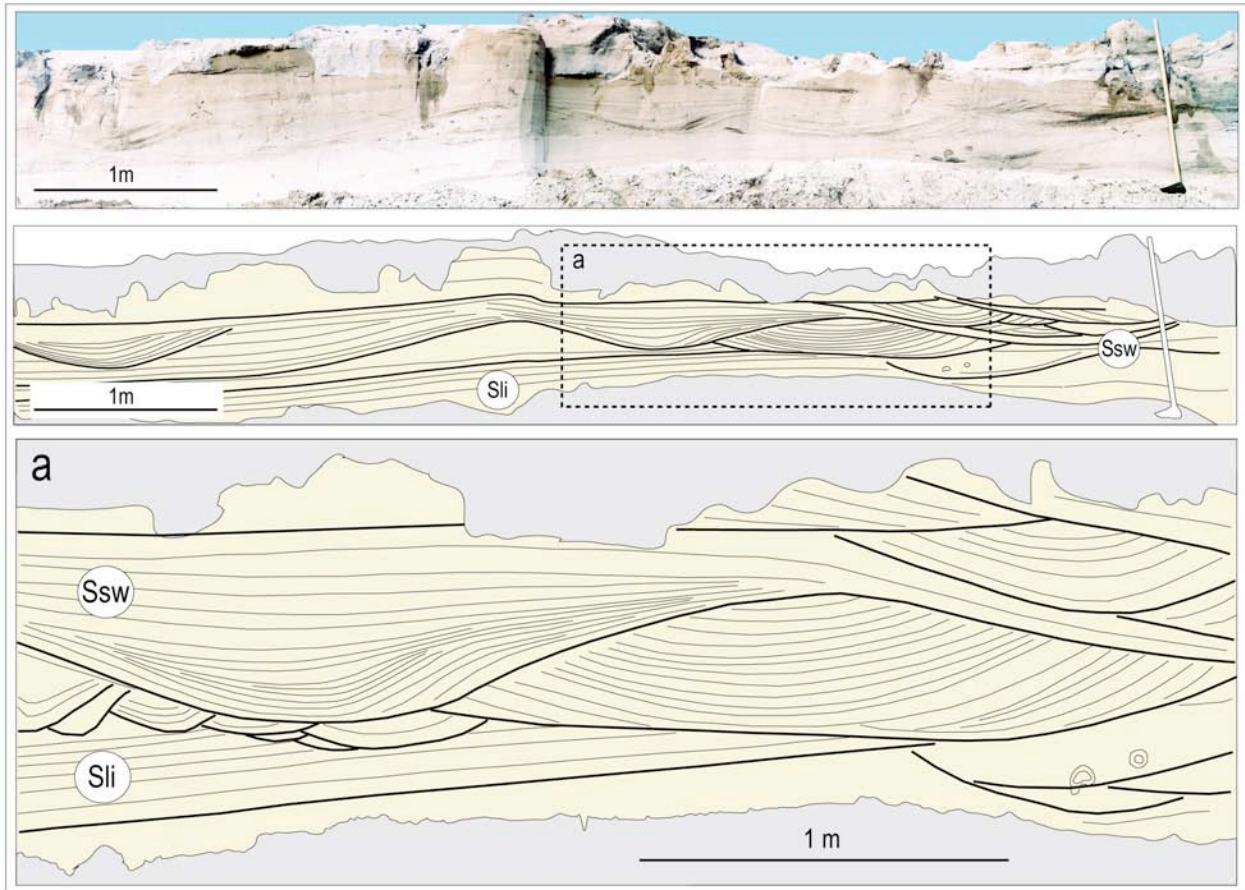


Figura 22: Fácies areia com estratificação cruzada *swaley* (Ssw) do ponto PB 01.06.05, areal das Ilhas III.

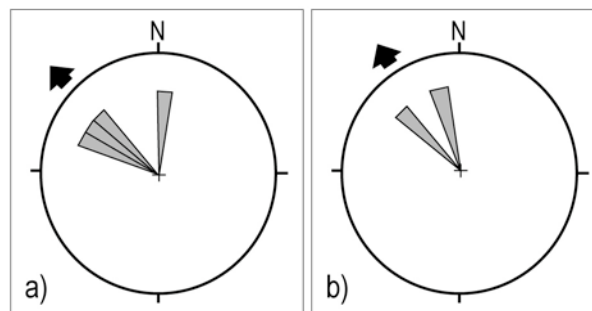


Figura 23: Principais direções de paleocorrentes nas estratificações cruzadas *swaleys* (Ssw) do Areal das Ilhas III, ponto de descrição P23.03.2006. Swaleys a) superiores e b) inferiores.

A forma das feições indica interação de ondas de grande porte com o fundo. A variação nas intensidades das ondas pode ter formado os truncamentos nas

estruturas, decorrente do fluxo oscilatório, observado nos afloramentos. Os contatos superiores e inferiores são erosivos. Geralmente associada à fácies (Sli). Sotoposta a essa fácies, com contato erosivo, ocorre (St), e sobreposta, com contato erosivo, (Sp).

8.4.2 Areia com estratificação cruzada planar (Sp)

Esta fácies é constituída por *sets* de 10 a 40 cm de espessura, estratos geralmente tabulares, compostos por areia fina a média, bem a moderadamente selecionada. Nos estratos pode-se observar estratificação cruzada formada por planos claros e escuros constituídos por areia média e grossa. Podem ocorrer grânulos de cristais de quartzo e cristais placóides milimétricos de moscovita. A maior granulação está concentrada na parte inferior das lâminas. Paleocorrentes com direções preferenciais variando de N135°, N270° a 360° (figura 24 e 25).

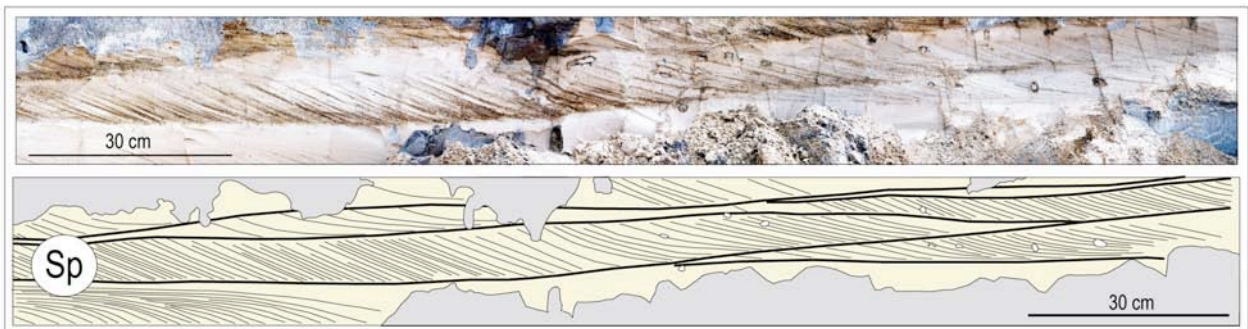


Figura 24: Fácies areia com estratificação cruzada tabular (Sp) no ponto PA 01.06.05 no areal da Ilha III. Nessas areias existe um enriquecimento epigenético de matéria orgânica e óxidos de ferro que estão concentrados nas lâminas com granulação mais grossa.

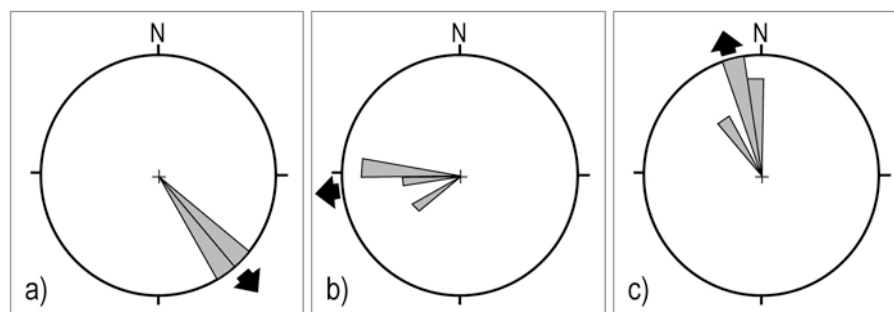


Figura 25: Principais direções de paleocorrentes nas estratificações cruzadas planares (Sp): a) ponto P23.04.08; b) P04.07.07 (E) e c) P26.08.08.

Foi observado ocasionalmente truncando as estruturas tubos de *Ophiomorpha* preenchidos por areia fina, atribuídos a *Callichirus major*. O processo de formação das

estruturas corresponde à migração de lâminas frontais de dunas subaquosas de crista reta a linguóide. Os contatos superiores e inferiores erosivos. Essa fácies está geralmente associada a (St).

8.4.3 Areia com estratificação cruzada acanalada (St)

Esta fácies é constituída por *sets* de até 50 cm de espessura, com estratos lenticulares compostos por areia quartzosa média a grossa, mal selecionada, grãos angulosos a subangulosos e grau baixo de esfericidade. É possível observar na parte interna dos estratos a estratificação cruzada planar paralela ao sentido do fluxo; e cruzadas horizontalizadas formando canais que se truncam transversais ao sentido do fluxo (figura 26).

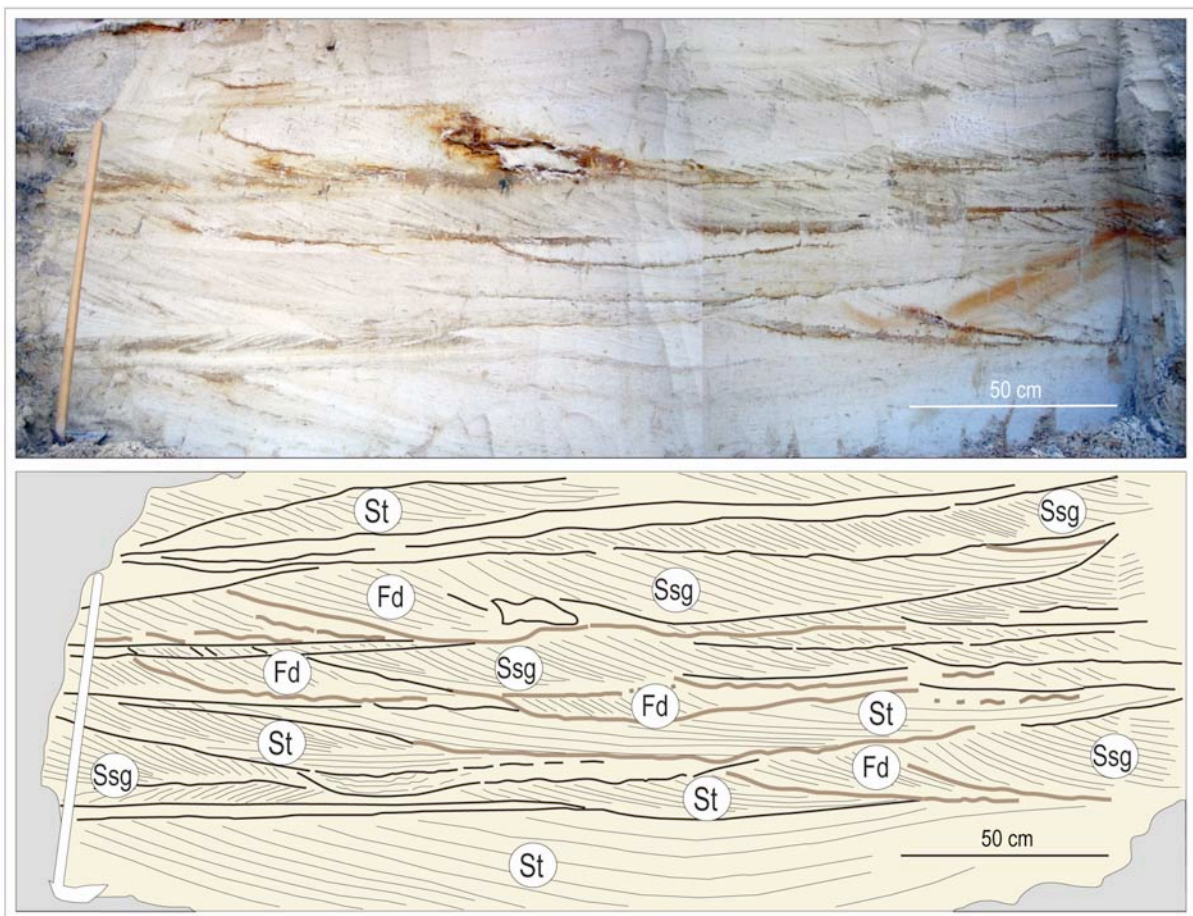


Figura 26: Fácies areia com estratificação cruzada acanalada (St) associada à estratificação cruzada sigmóide (Ssg). Notar grande quantidade de lama em *drapes* (Fd), traço marrom. Ponto PB 20.07.06 do areal do Sítio.

O processo de formação dessas estruturas pode corresponder à migração de lâminas frontais de dunas subaquosas de crista sinuosa. A fácies (St) ocorre associada a (Sr) e pode apresentar na sua superfície lama maciça (Fm) em forma de *drapes* (Fd), com até 5 cm de espessura e 1m de extensão. Essa fácies pode ocorrer associada também a (Ssg). A direção das paleocorrentes está entre NW a N27° (figura 27).

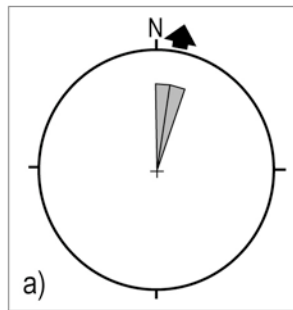


Figura 27: Principais direções de paleocorrentes nas estratificações cruzadas acanaladas (St) do ponto P23.04.08, porção superior.

Em alguns pontos observa-se a inversão de sentido das paleocorrentes, possivelmente devido à influência da maré. Os contatos inferiores e superiores geralmente erosivos.

8.4.4 Areia com estratificação cruzada sigmóide (Ssg)

Esta fácies é constituída por sets de até 50 cm de espessura, estratos cuneiformes com 10 a 50 cm de espessura, e até 10m de extensão lateral. Composta por areia quartzosa fina a média, bem a moderadamente selecionada, ocasionalmente grânulos de quartzo; aproximadamente 5% de minerais máficos e argila. As paleocorrentes têm direções entre N10° e N300° (figura 28). O processo de formação corresponde a um depósito de migração de dunas subaquosas de crista reta a sinuosa. Pode ocorrer associada as fácies (Sr), (Sli), (St), (Sp) e (Fd).

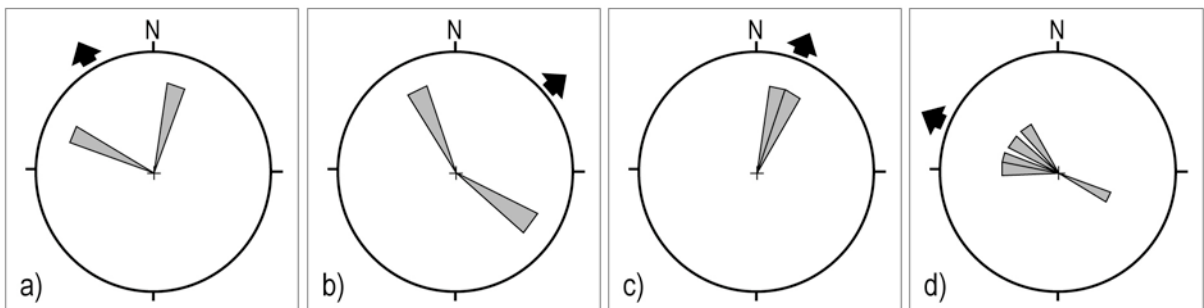


Figura 28: Principais direções de paleocorrentes nas estratificações cruzadas sigmóides (Ssg) dos pontos a) P01.06.05 a2; b) P22.04.08 (1); c) P.30.03.07 (a) e d) P04.07.07 (E) 4.

Foram observados *drapes* de lama na parte inferior das lâminas indicando alternância de fluxos trativos e de decantação, o que sugere a ação de correntes de maré. Contato inferior gradacional ou erosivo, superior erosivo (figura 29).

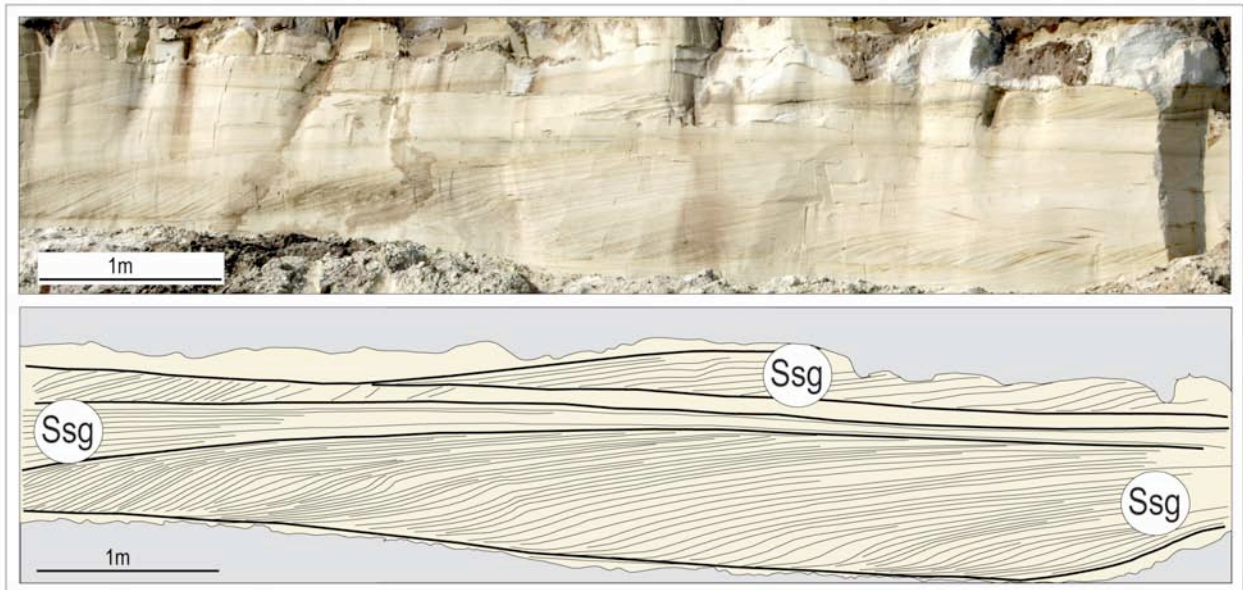


Figura 29: Fácies areia com estratificação cruzada sigmóide (Ssg) do ponto P29.03.07 do areal da Ilha III.

8.4.5 Areia com ondulações e laminações cruzadas (Sr)

Formada por estratos tabulares de 12 a 25 cm de espessura, compostos de areia quartzosa fina a média, moderadamente a bem selecionadas e minerais máficos, aproximadamente 2%. Nos estratos ocorrem laminação cruzada e ondulações simétricas e/ou assimétricas (figura30). A interpretação do processo de formação das estruturas é resultante da ação de ondas, originando formas simétricas e correntes unidirecionais, formas assimétricas. O comprimento de onda pode variar de 10 a 20 cm e a altura entre 3 a 5 cm.

As ondulações podem ocorrer na superfície de estratificações cruzadas subhorizontais, que compõem a base de estruturas sigmóides de grande porte. Geralmente associadas à (Fd) e (Ssg). Contatos inferior e superior erosivos.

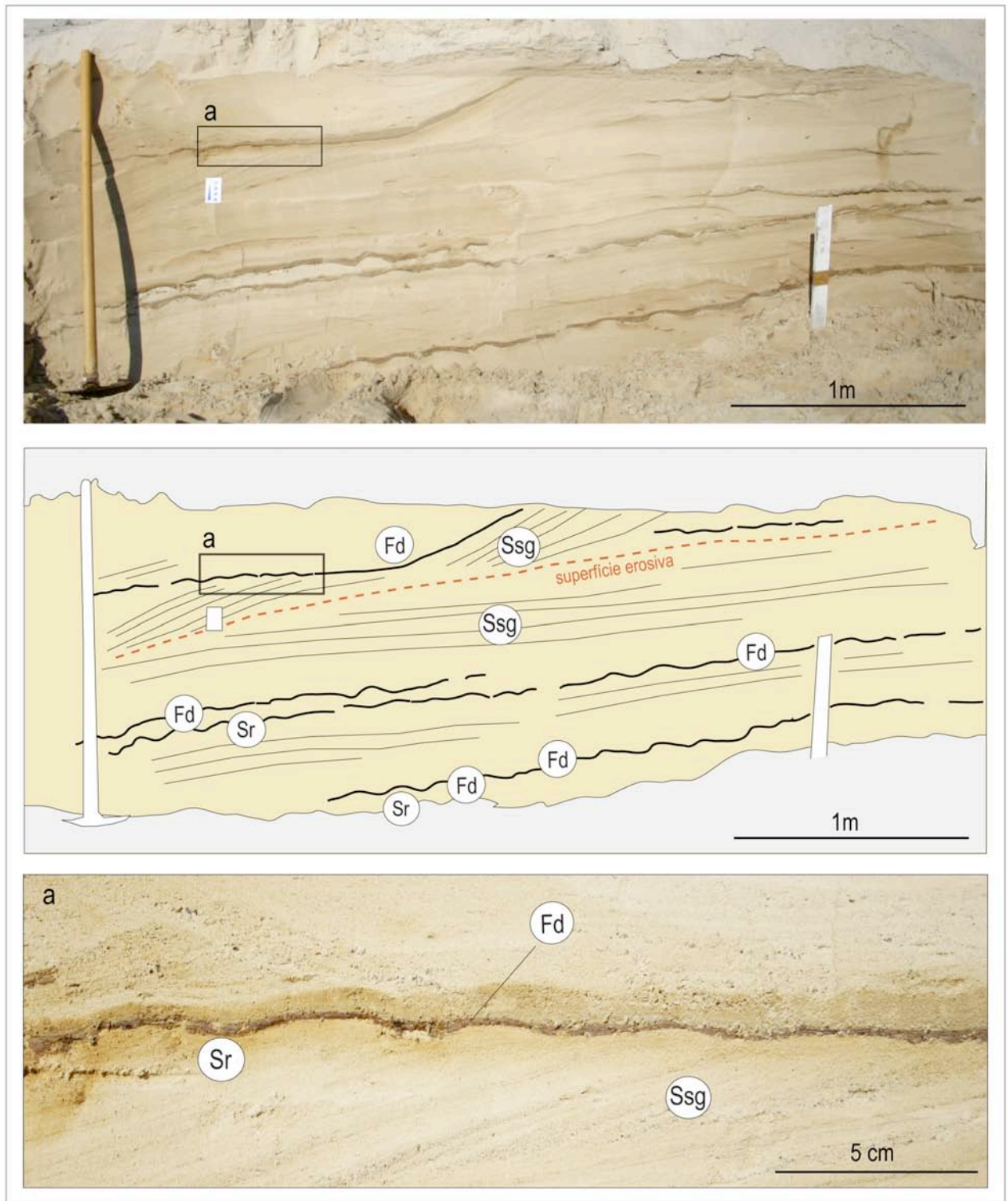


Figura 30: Areia com ondulações, *ripples* (Sr), associada com sigmóide (Ssg) e lama em *drapes* (Fd) no ponto PF 04.07.07 do areal número 7.

8.4.6 Areia maciça (Sm)

Esta fácies é formada por estratos de 20 a 90 cm de espessura, areia quartzosa fina a grossa, mal selecionada, podendo conter grânulos e clastos de quartzo centimétricos. Não foi possível a determinação do processo deposicional. Contato inferior e superior erosivos (figura 31).

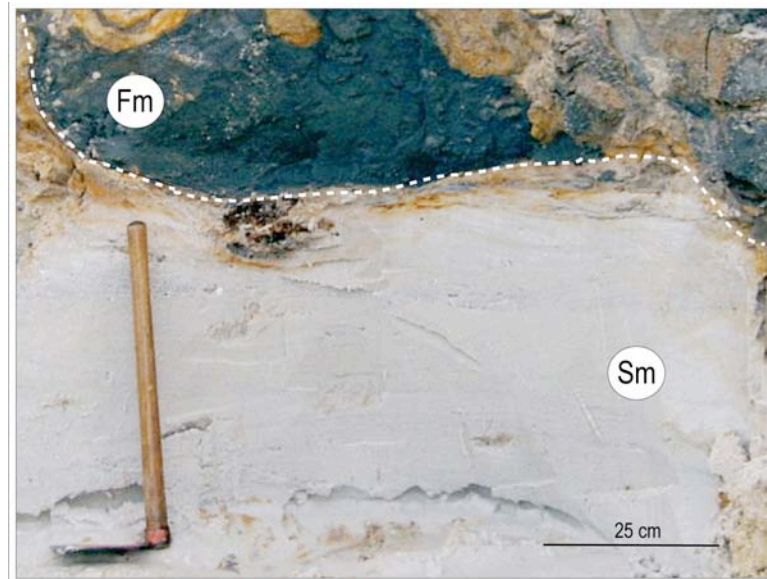


Figura 31: Fácies areia maciça (Sm) em contato com a fácies lama maciça (Fm), no areal da Ilha III.

8.4.7 Areia com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sli)

É formada por camadas cuneiformes compostas por areia quartzosa, fina a média, bem selecionada, formando estratos tabulares de 10 a 40 cm de espessura e até três metros de extensão. Na parte interna as laminações subhorizontais variam de 2 a 4 cm de espessura (figura 32). O processo de formação da estratificação cruzada subhorizontal está associado ao espraiamento de ondas. Eventualmente contendo moldes de conchas de bivalves com concavidade para baixo, e tubos de *Ophiomorpha* preenchidos por areia fina, atribuídos a *Callichirus major*. Ocorrem direções de paleocorrentes para NE e NW (figura 33). Essa fácies pode ocorrer associada à (Ssg), (St), (Sp) e (Ssw). Contatos superior e inferior erosivos.

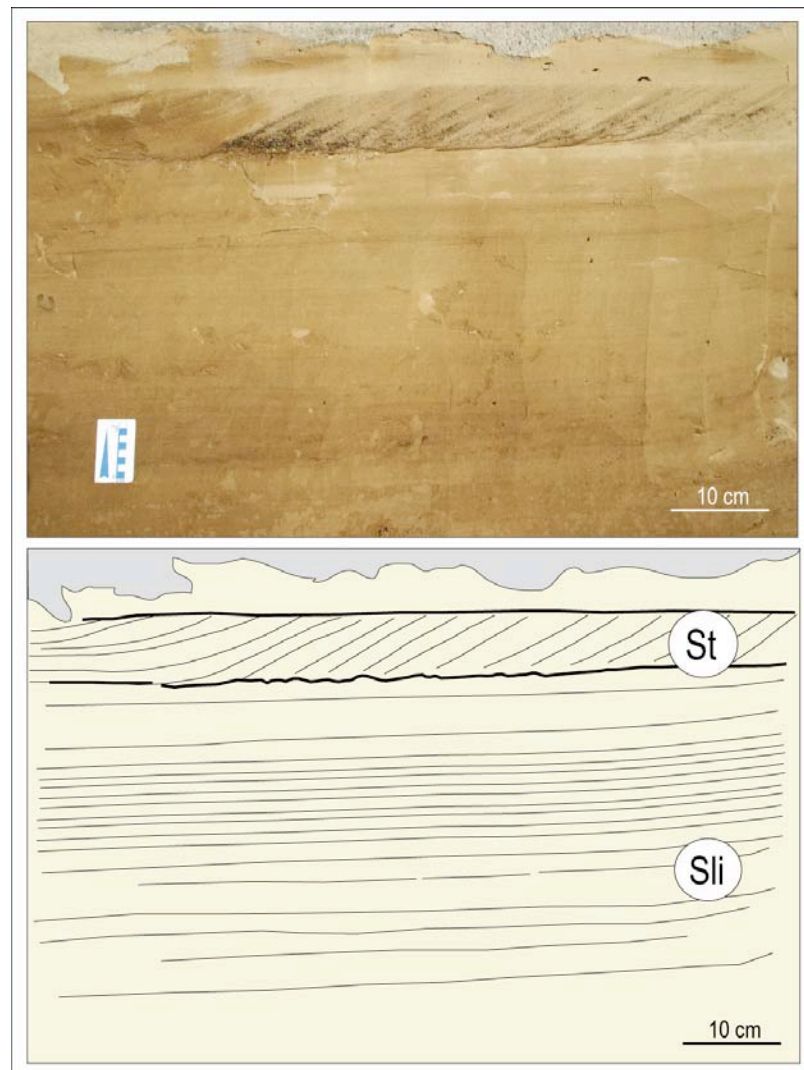


Figura 32: Associação de fácies areia com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sli) e acanalada (St), disposta em corte paralelo ao sentido do fluxo, ponto P 26.08.08 , areal #7.

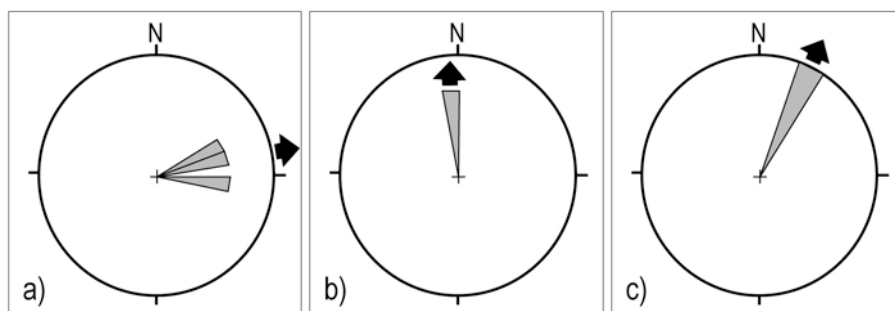


Figura 33: Principais direções de paleocorrentes nas estratificações cruzadas de baixo ângulo (Sli) dos pontos a) P20.08.08 (3); b) P20.08.08 (4); c).P26.08.08 (B).

8.4.8 Areia com acamamento *flaser* (Sf)

Esta fácies é constituída por estratos com 10 a 20 cm de comprimento e 5 a 10 cm de espessura, compostos por argila, silte e areia quartzosa fina a média, bem a moderadamente selecionada. Em alguns afloramentos ocorre associada à (Ssg), (Fd) e (FI). A fácies foi interpretada como o depósito de fluxo oscilatório gerado por ondas, alternados com momentos de baixa energia. Contato erosivo inferior e superior (figura 34).



Figura 34: Fácies areia com acamamento *flaser* (Sf), no testemunho S03, areal das Ilhas III.

8.4.9 Lama com estratificação *linsen* (FI)

Esta fácies é composta por estratos de até 70 cm de espessura, constituídos por argila e areia quartzosa fina a média, bem selecionada e com restos vegetais de fragmentos de troncos transportados. A intercalação de lâminas de lama e silte e lentes de areia fina a média, caracterizam o acamamento lenticular ou *linsen*. Foram observados tubos *Ophiomorpha* atribuídos a *Callichirus major*. Essa fácies foi formada por processos de decantação com episódicas e em intervalos de fracas correntes trativas. Contatos inferior e superior erosivos. Pode ocorrer associada a (Fm), (Sr), (FI) e (Fd). Contatos inferiores gradacionais a erosivos, e superiores erosivos (figura 35).

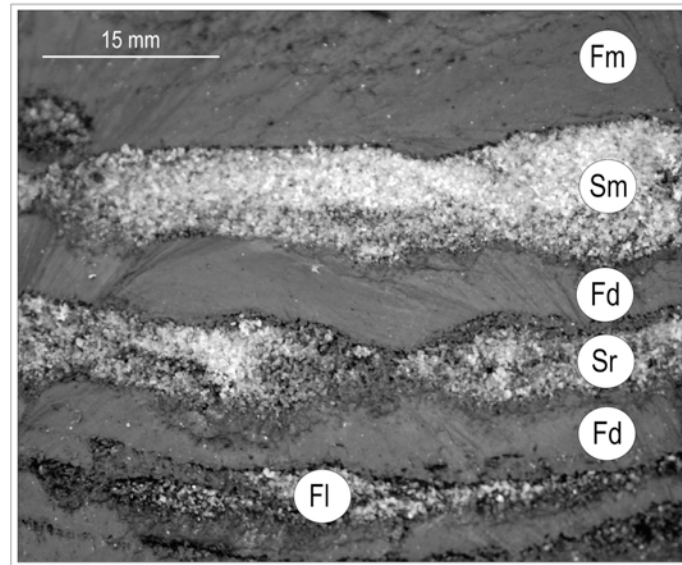


Figura 35: Fácies lama com *linsen* (FI) alternadas com fácies lama em *drape* (Fd), areia com marcas onduladas (Sr) e lama em *drapes* (Fd) e areia maciça (Sm). Testemunho S03, areal das Ilhas III.

8.4.10 Lama maciça (Fm)

Esta fácies é composta por lama sem estruturas aparentes, plástica e negra. Os estratos podem ter de 0,2 a 1,5 m de espessura. Essa fácies é formada por processos de decantação. Geralmente associada a (Fd) e (Fb). Grãos de quartzo, pelotas milimétricas de argila e restos vegetais também podem estar associados (figura 36).



Figura 36: Intraclastos de argila clara, grãos de quartzo e nódulos escuros de matéria orgânica na lama maciça (Fm). Testemunho S03, areal das Ilhas III.

8.4.11 Lama em *drapes* (Fd)

Esta fácies é formada por estratos planos com 1 a 2,5 cm de espessura. É constituída por lama maciça, plástica e negra, sem estruturas aparentes. Podem

encobrir as superfícies de estruturas planares e onduladas. Geralmente associados a (Ssg), (Sr), (Fm) e (Fd). Essa fácies é formada por processos de decantação.

8.4.12 Lama bioturbada (Fb)

Esta fácies é constituída por estratos com 10 a 50 cm de espessura, compostos por lama e às vezes com contribuições localizadas de areias quartzosas finas a médias e até grânulos de quartzo. Muito bioturbadas e com restos vegetais de fragmentos de troncos e raízes com marcas de abrasão indicando transporte, arredondamento das extremidades (figura 18). Pode estar associada as fácies (FI), (Fd) e (Fm).

8.5 Idade da barreira

A amostra de madeira proveniente da fácies de lama maciça (Fm) do areal das ilhas III forneceu idade > 40.000 anos A.P. (CENA-1070). Esse resultado foi corrigido para o fracionamento isotópico natural (-25‰). O erro foi de $\pm 1 \sigma$ (68,3% de probabilidade), (anexo II).

Esta amostra é proveniente de um nível próximo à amostra datada por Angulo *et al.* (2002), a qual foi tratada pelo procedimento padrão para retirada de possíveis contaminantes, e forneceu idade de 41.200 +3.400/-2.350 anos AP (CENA 273), o que sugere que o tratamento padrão não removeu totalmente, e o tratamento enérgico aplicado à nova amostra os removeu totalmente, fornecendo uma idade da amostra mais confiável. Os resultados das datações das amostras na sondagem S5 de Souza (2005), forneceram idades ^{14}C entre 30.400 ± 700 e 30.900 ± 900 anos antes do presente (A.P.) (quadro 3).

Quadro 3: Resultados das datações ^{14}C de amostras provenientes dos sedimentos e amostras de madeira da barreira pleistocênica paranaense.

Local	Profundidade ⁽¹⁾ (m)	Referência laboratório ⁽²⁾	Idade ^{14}C anos A.P. Convencional ⁽³⁾	Natureza da amostra
areal da ilha III	7-8	CENA-1070	> 40.000	Lama (Fm)
#05	8,2 a 8,0	CENA-475	30.900 ± 900	Lama orgânica

Observações: ⁽¹⁾ em relação ao nível médio do mar (maré alta indicada pelo limite com o mangue); ⁽²⁾ CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura; ⁽³⁾ corrigidas pelo $\delta^{13}\text{C}$.

8.6.Fósseis

8.6.1. Icnofósseis

Nos afloramentos e testemunhos de sondagens foram identificados os icnofósseis *Ophiomorpha* atribuída a *Callichirus* sp (figura 37).

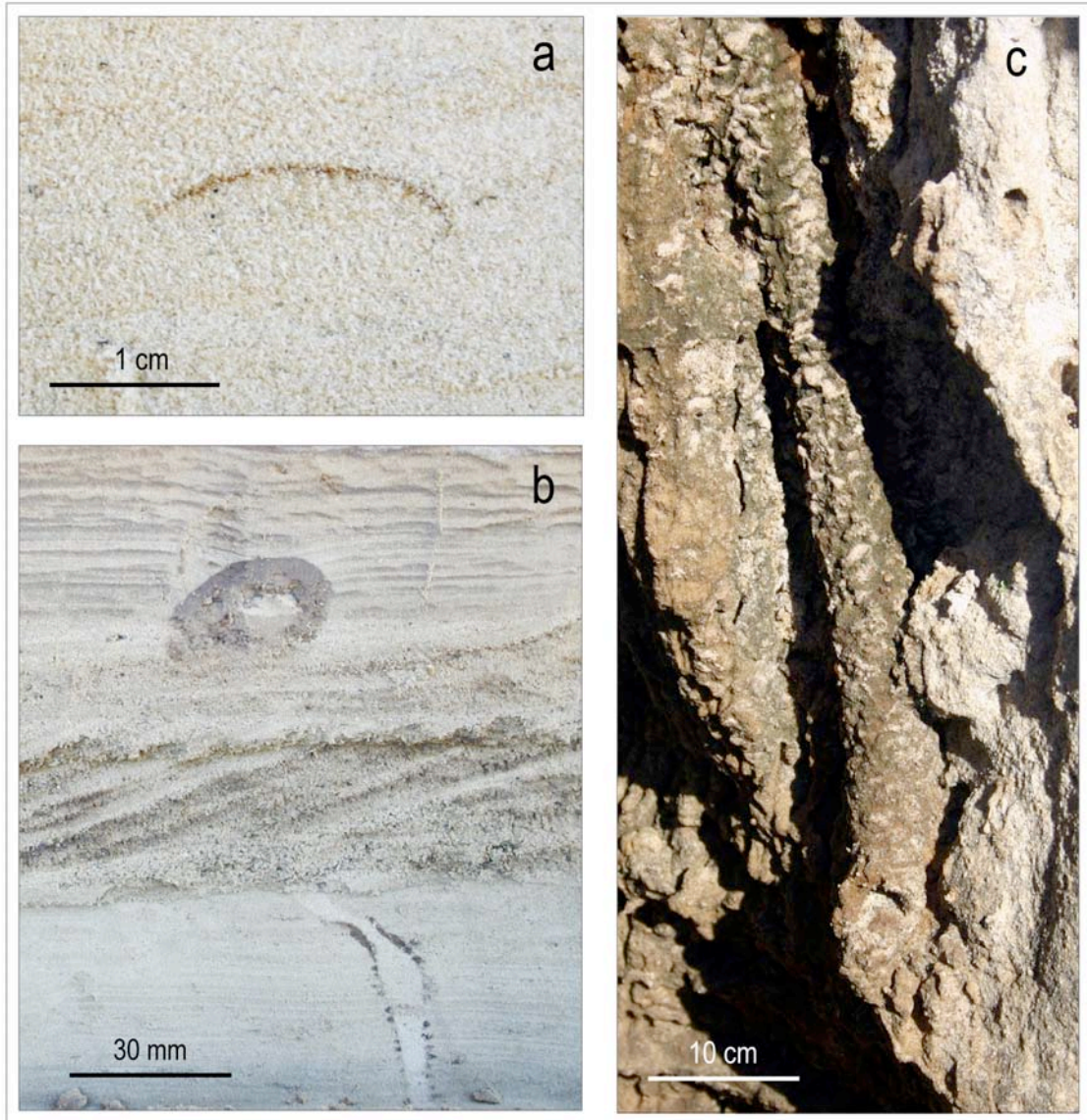


Figura 37: (a) Molde de concha de bivalve com concavidade para baixo na fácies Sli, areal da Ilha III; (b) e (c) tubos de *Ophiomorpha* preenchidos por areia fina, atribuídos a *Callichirus major* na (Sli) do ponto P8 23.04.08, areal do Imbocuí, região de Paranaguá.

Os tubos apresentam superfície externa botroidal e interna lisa, possuem de 2,0 a 6,0 cm de diâmetro. Os tubos são verticais às vezes com ramificações horizontais. O

comprimento pode ser superior a 1 m. Estes tubos têm sido caracterizados como *Ophiomorpha* e atribuídos ao artrópode *Callichirus* sp (Suguio *et al.* 1984). Na área ocorrem associados as fácies (Sli), (Sp) e (Ssg).

Segundo Angulo (1992a), a galeria do *Callichirus major* pode ter extensão de 1 a 2 m. Na parte mediana do tubo pode apresentar ramificações laterais (Suguio *et al.* 1985). Suguio & Martin (1976b) ressaltam que, na maioria das vezes, somente a porção inferior dos tubos encontra-se preservada.

Com relação ao habitat atual do *Callichirus major*, Rodrigues (1966) informa que tem sido encontrado em ambientes com grau variável de exposição às ondas, desde locais abrigados a expostos. É encontrado em sedimentos de granulação variada, mas nunca em depósitos de lama ou de granulação muito grossa. Suguio & Martin (1976a) concluíram que o limite superior à zona de tubos indica a posição do nível médio da maré na época em que viviam os organismos que os construíram. Já Suguio *et al.* (1985) consideravam que a superfície de areia onde se iniciam os tubos de *Callichirus major*, corresponde a aproximadamente nível de maré baixa.

8.6.2. Moldes de conchas

Os moldes de bivalve ocorrem no areal das Ilhas III e do Imbocuí. Possuem aproximadamente 1,5 cm de comprimento e 1 mm de espessura. Geralmente associadas as fácies areias com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sli), tabular (Sp) e sigmóide (Ssg) (Figura 32a).

8.6.3. Madeira

Nos areais da Ilha e do Imbocuí ocorrem troncos, raízes e outros fragmentos de madeira associados à fácies lama maciça (Fm) e fácies lama com acamamento *linsen* (FI) (figura 38).



Figura 38: Tronco coletado na lama maciça do areal das Ilhas III, notar o arredondamento do tronco e as perfurações atribuídas a teredinídeos.

Alguns troncos apresentavam desgaste evidenciando transporte. Alguns apresentavam numerosas perfurações de 0,5 a 1,2 cm de diâmetro que foram atribuídas a teredinídeos, devido à similaridade das perfurações desenvolvidas nos troncos atuais por esse molusco, quando comparadas com as das madeiras pleistocênicas. Essas perfurações também indicam a permanência dos restos vegetais em ambiente estuarino ou marinho.

Das doze amostras analisadas para identificação antracológica, cinco apresentavam estrutura da madeira muito deteriorada e não puderam ser identificadas. Quatro amostras foram identificadas como correspondentes a *Ilex* sp (Aquifoliaceae) e as três restantes a *Inga* sp (Leguminosae Mimosoideae), *Calyptanthes* sp (Myrtaceae) e *Laguncularia racemosa* (Combretaceae). Enquanto os três primeiros taxa são sugestivos de floresta subtropical, o último indica ocorrência de mangue.

A estrutura anatômica do lenho destas amostras se caracteriza por: (1) poros solitários e múltiplos, diâmetro médio 40µm; placas de perfuração escalariformes com 15-50 barras; pontoações intervasculares opostas; parênquima difuso; raios unisseriados misturados a 4-9-seriados, heterogêneos, altura superior a 2mm; presença

de anéis de crescimento (*Ilex* sp) (figura 39b); (2) poros predominantemente solitários, diâmetro médio 170 μ m; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas, ornadas, 3-6 μ m; parênquima losangiforme; raios 1-2-seriados homogêneos (*Inga* sp) (figura 34b); (3) poros exclusivamente solitários em filas radiais e oblíquas, diâmetro médio 40 μ m; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas, ornadas, 4-6 μ m; parênquima difuso e em agregados; raios (2)3(4)-seriados heterogêneos (*Calyptranthes* sp); e (4) poros solitários e múltiplos, diâmetro médio 55 μ m; placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas, ornadas, 5-7 μ m; parênquima losangiforme; raios unisseriados heterogêneos (*Laguncularia racemosa*).

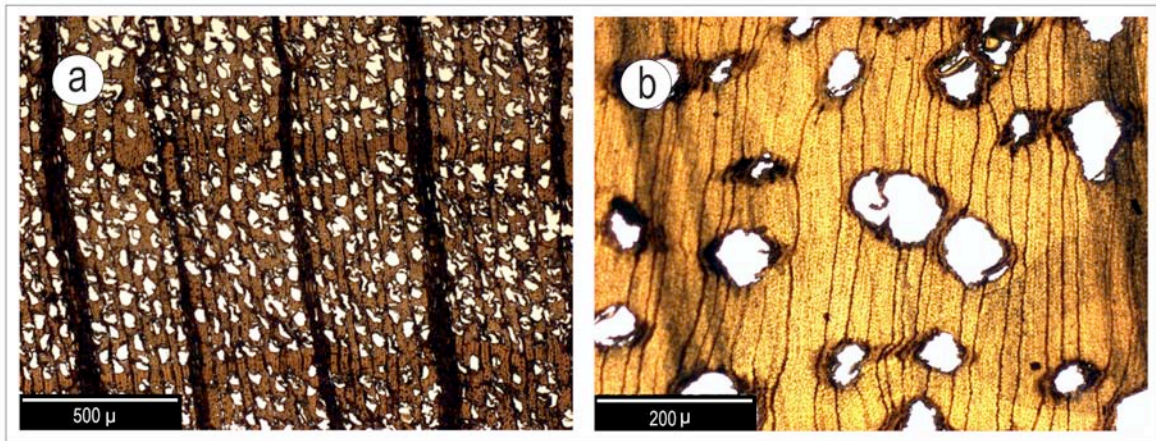


Figura 39: Análise de lenhos. Fotografias e microfotografias (lâmina delgada) de duas espécies identificadas na área de estudos, a) *Inga* sp (Leguminosae Mimosoideae) e b) *Ilex* sp (Aquifoliaceae).

8.6.4. Foraminíferos

Das 113 amostras analisadas 75 foram estéreis e em 38 delas foi encontrado o foraminífero *Blymasphaera brasiliensis*. Os testemunhos de sondagens que obtiveram as maiores concentrações da *Blymasphaera* foram o S03 e o S04. Sempre associados às fácies com maior concentração de finos, (Fm), (FI) e (Sf).

Somente nas amostras provenientes de profundidades maiores que 2 m abaixo do nível médio do mar atual, foram encontrados foraminíferos que freqüentemente ocorrem associados a fragmentos vegetais (figura 40).

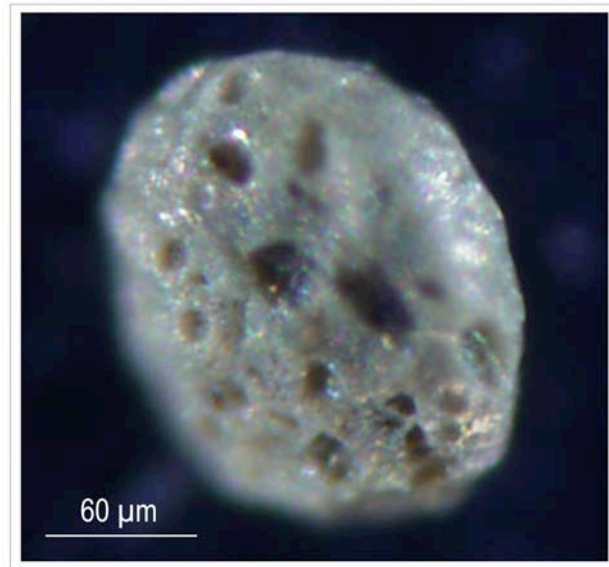


Figura 40: Foraminífero *Blymasphaera brasiliensis* nos sedimentos do testemunho de sondagem (S03).

Nos depósitos estudados por Veiga *et al.* (2006), na plataforma interna paranaense, a *Blymasphaera brasiliensis* foi à única espécie de foraminífero registrada nos sedimentos pleistocênicos. Ela tem uma carapaça orgânica que pode ser preservada em ambiente com pH mais baixo e redutor, como sugerem os indícios de piritização em algumas carapaças desta espécie. O material orgânico de sua carapaça pode ter suportado a maior acidez e disoxia do meio, assim como os fragmentos vegetais encontrados em alguns estratos juntamente com esta espécie de foraminífero.

8.7 Associação de fácies e interpretação paleoambiental

As descrições dos principais afloramentos e de testemunhos obtidos através das sondagens por vibrotestemunhador foram reunidas em três seções colunares na forma de perfis estratigráficos esquemáticos: areais da Ilha III, Imbocuí, e areal número 7 (figura 41). Essas sessões mostram a distribuição das fácies descritas e sua posição com relação ao nível relativo do mar atual e a paleopropfundidade inferida.

8.7.1 Associação de fácies

As fácies encontradas foram interpretadas como marinhas e marinhas rasas. Não foram encontradas fácies eólicas da barreira na área estudada; possivelmente

porque uma fase erosiva, devido ao caráter regressivo da barreira, arrasou os depósitos sedimentares localizados na porção superior da barreira.

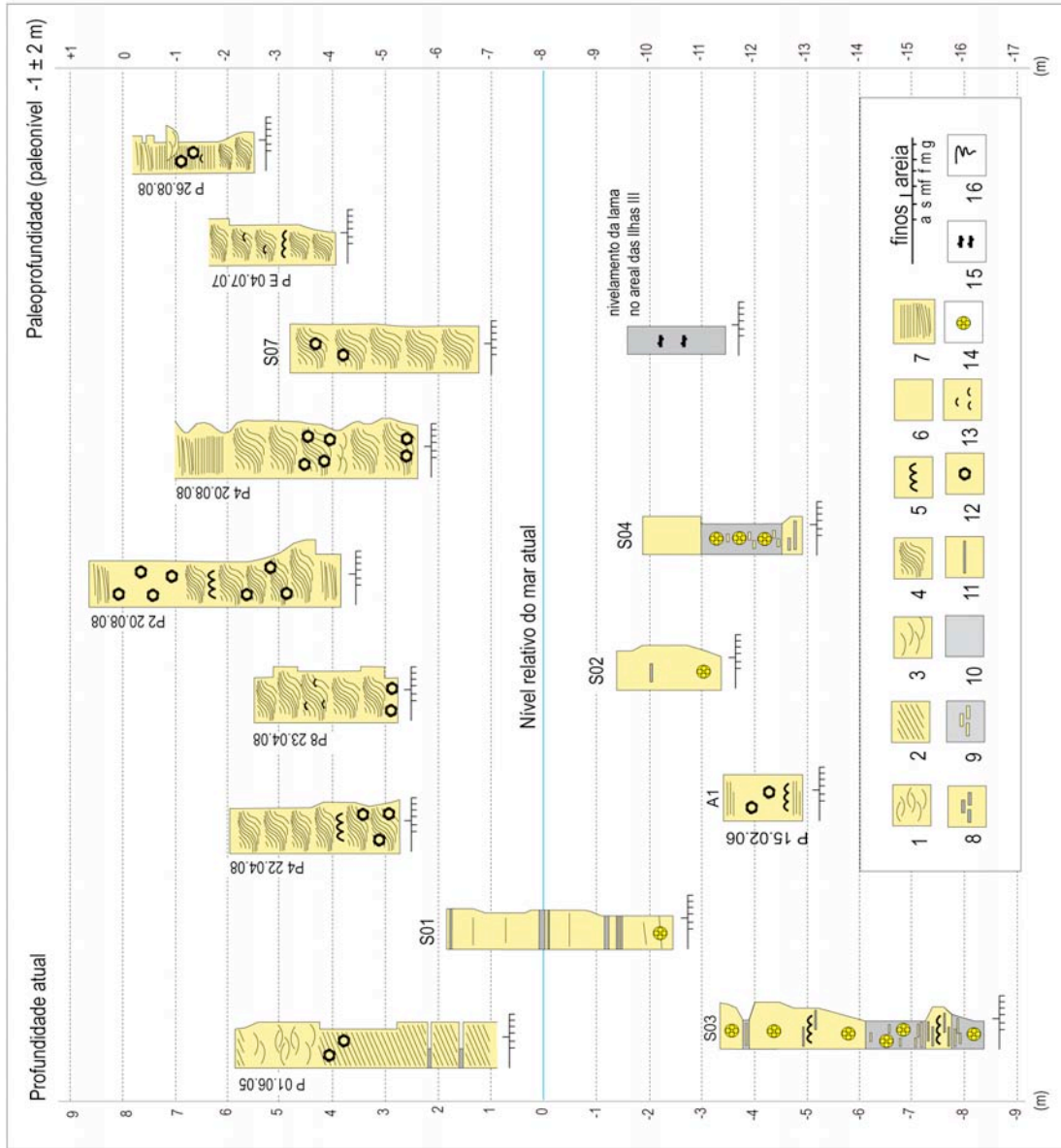


Figura 41: Perfis indicando associações de fácies e os fósseis na barreira pleistocênica com relação à profundidade atual e a paleoprofundidade inferida. (1) areia com estratificação cruzada swaley (Ssw), (2) planar (Sp), (3) acanalada (St), (4) sigmóide (Ssg); (5) areia com ondulações e laminações cruzadas (Sr); (6) areia maciça (Sm); (7) areia com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sli); (8) areia com acamamento *flaser* (Sf); (9) lama com *linsen* (Fl); (10) lama maciça (Fm); (11) lama em *drape*; (12) *Ophiomorpha*; (13) moldes de bivalves; (14) *Blysmaphera brasilienses*; (15) troncos e raízes; (16) bioturbação.

O limite da barreira pleistocênica com a barreira holocênica foi definido utilizando datações carbono ^{14}C e características sedimentares, principalmente granulométricas. Com o nivelamento dos perfis estratigráficos e das sessões colunares desenvolvidas

em relação ao nível médio do mar atual, as fácies descritas foram posicionadas e agrupadas em associação de fácies.

Os processos sedimentares interpretados, as inter-relações entre as fácies associadas permitiram agrupar cinco subambientes principais: (a) *Shoreface* inferior (LS), (b) *Shoreface* média (MS), (c) *Shoreface* superior (US) e (d) praia subaérea e inframaré (F) (figuras 42 e 43). Esses cinco subambientes serão descritos no decorrer deste capítulo.

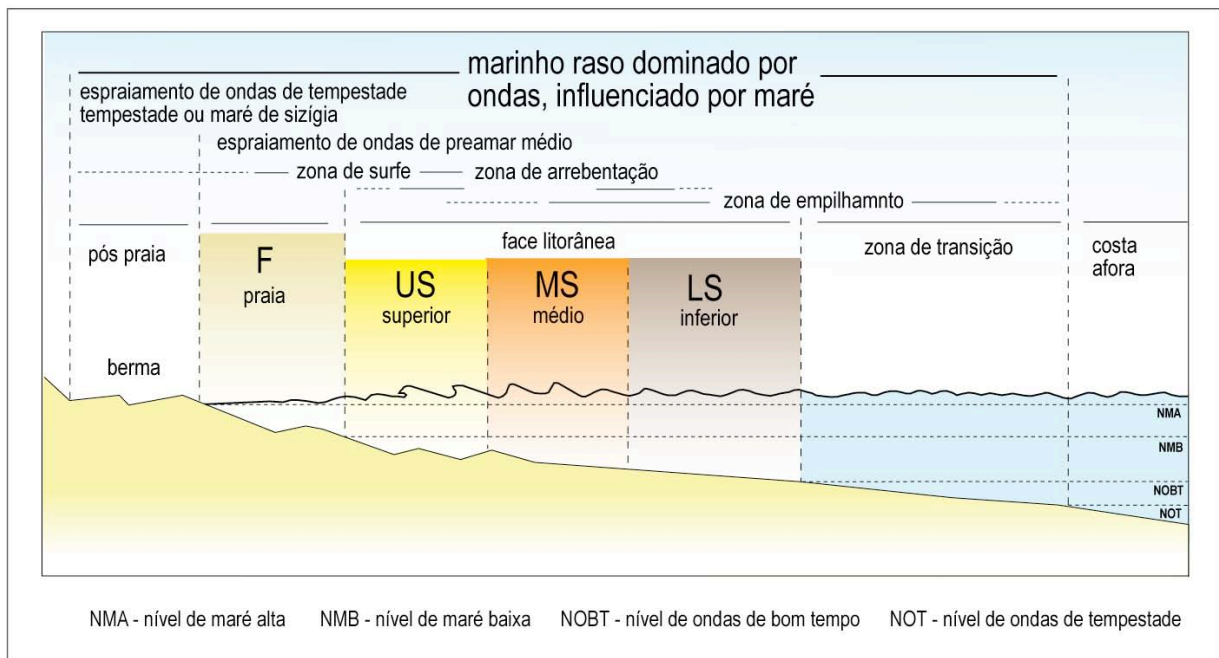


Figura 42 Perfil esquemático do sistema marinho raso dominado por ondas e influenciado por maré (Angulo 1992a). Associações de cinco subambientes principais, face litorânea inferior (LS), face litorânea média (MS), face litorânea superior (US), praia subaérea e inframaré (F).

8.7.1.1 *Shoreface* inferior (LS)

O conjunto de associação de fácies distribuída entre as cotas -1 e $-8,5$ m de profundidade, no areal das Ilhas III, é caracterizado pela associação de (Sf), (Fm), (FI) e (Sr). A (Fm), muito bioturbada e com restos vegetais, fragmentos de troncos e raízes transportados, que é evidenciado pelo grau de arredondamento das madeiras (figura 42). Essa associação de fácies é caracterizada pelo predomínio de processos de decantação, associados com intensa atividade biológica, alternada com períodos de maior energia.

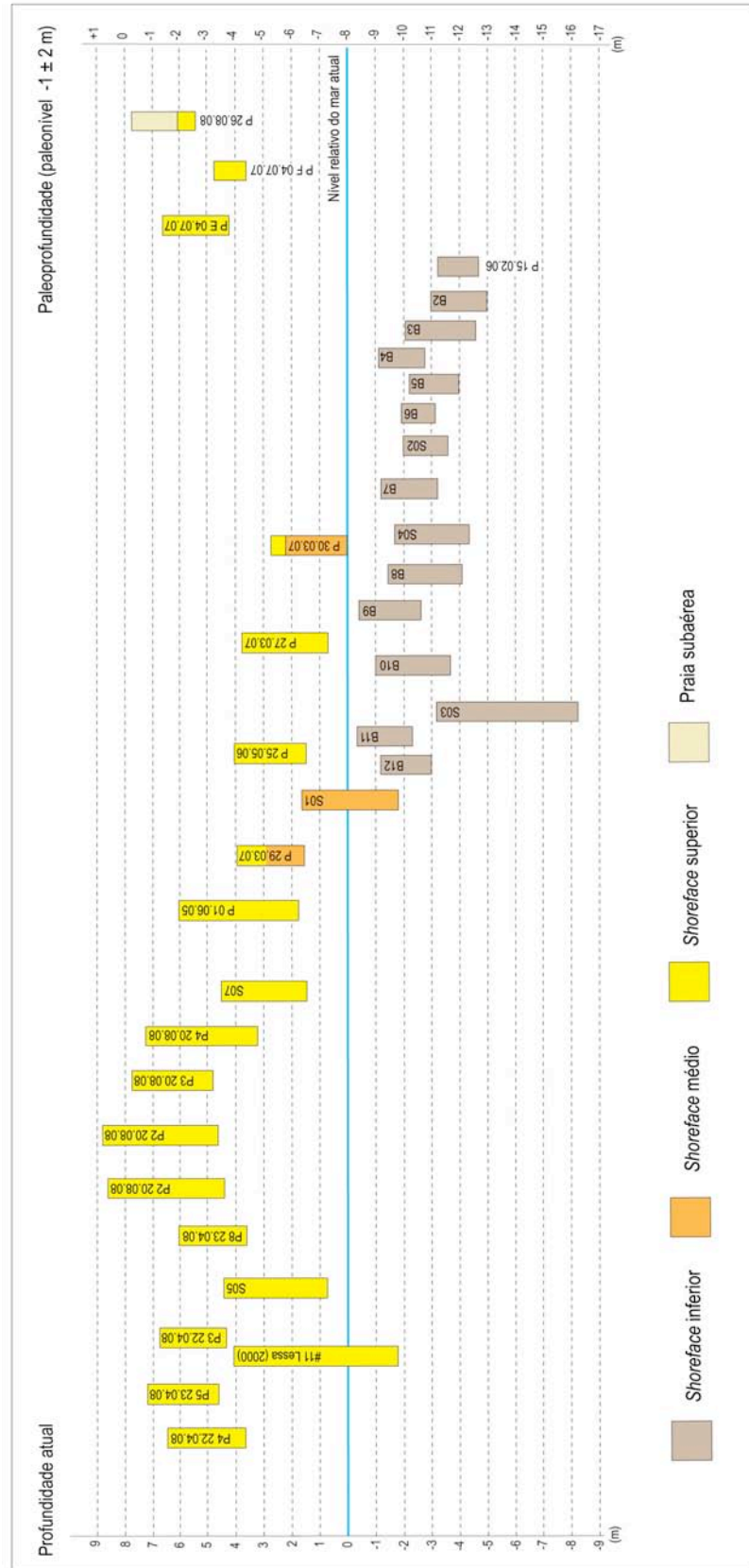


Figura 43: Distribuição dos principais perfis estratigráficos e das sondagens com vibrotistemunhador mostrando a profundidade e as associações de fácies da barreira pleistocênica, com relação ao nível relativo do mar atual.

Esta associação pode ser atribuída à *shoreface* inferior entre 9 a 17,5 m de profundidade, com influência de ondas de tempestades gerando processos trativos, assim como evidenciado por Souza (2005) na barreira holocênica paranaense. A associação de fácies corresponde *shoreface* inferior (LS), limite com a zona de transição.

8.7.1.2 Shoreface média (MS)

Distribuídas entre as cotas +5 a – 0,20 m de profundidade, Sli, Sp e Sr têm ampla distribuição, destacando-se no areal das ilhas III e do Imbocuí. As fácies podem ser interpretadas como formadas pela ação de ondas, na zona mais rasa do *esbeltamento* de ondas na arrebentação. A (Sli) corresponde a períodos de intensa energia e retrabalhamento do fundo. Na deposição dos sedimentos houve o predomínio de processos de fluxos oscilatórios, e subsidiariamente fluxos trativos de regime superior e também processos de decantação e de fluxo trativo de regime inferior, o que explicaria a ocorrência das fácies (Sp) e (Sr). Essa associação pode ser interpretada como *shoreface* média (MS) (figura 42).

8.7.1.3 Shoreface superior (US)

Entre as cotas +6 a +0,5 m, as fácies (Sp), (Sli), (St), (Ssg) e (Ssw) ocorrem associadas e distribuídas nos areais da ilha III, Imbocuí e #7. Notam-se tubos de *Ophiomorpha*, atribuído a *Callichirus major*, associados principalmente (Sli) e (Sp). Também foram observados moldes de conchas de bivalves com a concavidade para baixo em (Sli) e (Sp). Foi interpretada como formada por correntes trativas de regime inferior, geradas por ondas na zona de arrebentação e surfe com a presença de bancos de areia e canais. (Ssg), (Sp) e (St), descritas nos perfis com areias grossas, mal selecionadas e com grânulos de quartzo, correspondem a mega-ondulações (*megaripples*) de crista reta, ou ondas de areia (*sandwaves*) e a mega-ondulações de crista curva, ou dunas subaquosas (*subaqueous dunes*), como descrito por Angulo (1992a). São formadas em condições de fluxo de baixo regime, com variações na relação tração/suspensão, que gera tipos sigmóides, quando a suspensão aumenta, e

planar e tangenciais quando diminui. Essa associação de fácies foi interpretada como *shoreface* superior (US) (figura 42).

8.7.1.4 Praia subaérea e inframaré, *foreshore*, (F)

Os afloramentos situados entre as cotas +6 a +7,90 m correspondem a (Sli) e (St), localizados no areal #7, ponto P26.08.08. Em alguns afloramentos, ocorrem moldes de conchas com concavidade voltada pra baixo. Tubos de *Ophiomorpha*, atribuído a *Callichirus major* ocorrem associados principalmente (Sli). A (St) corresponde a pequenos canais de maré. Logo abaixo, ocorrem estratos com (Ssg), correspondente a pequenos bancos e canais de maré do pé da praia (*beach step*) na base da zona de intermaré. A (Sli) corresponde a fluxos trativos de regime superior, relacionado ao espraiamento das ondas sobre a face praial, possui paleocorrentes com direções preferenciais de mergulhos para NNE. A associação das fácies pode ser interpretada como praia subaérea e inframaré, *foreshore* (F) (figura 37).

De acordo com as descrições dos afloramentos, a fácies com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sli), pode ter duas conotações dependendo da associação de fácies e da paleopropriedade na qual foi sedimentada. Quando associadas com a fácies Ssg, não ultrapassando a cota de +6 m (NMA), representam um corte em 2D, da base de uma grande estrutura sigmoidal, relacionado à migração de dunas subaquosas. Acima de +6m, e associadas à fácies estratificação cruzada acanalada (St) e a *Ophiomorpha*, caracterizam praia subaérea (*foreshore*), fluxo de alto regime, zona de espraiamento de ondas.

9 Discussão e conclusão

A distribuição das fácies nos perfis e os rumos de paleocorrentes permitiram interpretar que as fácies foram depositadas possivelmente nas proximidades de um *inlet*. A proximidade de um *inlet* é justificada pela presença de material estuarino/lagunar que foi transportado até o ambiente marinho raso dominado por ondas e influenciado pela maré. Esse material é composto por sedimentos imaturos, com uma grande quantidade de finos em suspensão, além da presença do foraminífero *Blymasphaera brasiliensis* e de inúmeros restos de troncos e raízes.

No Pleistoceno tardio ou superior, a linha de costa estava mais próxima dos morros cristalinos localizados a oeste da cidade de Paranaguá. Essa situação ocorre nos períodos onde o nível relativo do mar estava mais alto que o atual, $8\text{m} \pm 2\text{m}$ acima do nível atual há 120.000 anos A.P., referente ao último período interglacial denominado 5e.

De acordo com as datações dos materiais orgânicos encontrados nos sedimentos da barreira, os depósitos pleistocênicos a oeste de Paranaguá, na área estudada são mais antigos que 40.000 anos A.P. e podem corresponder ao máximo de 120.000 anos A.P. como sugerido em trabalhos anteriores (Martin *et al.* 1988, Angulo *et al.* 2002).

Nesse contexto foi reconhecido um sistema marinho raso dominado por ondas e influenciado por maré. Foram separadas quatro associações de fácies, que representam quatro subambientes principais: *shoreface* inferior (LS), *shoreface* média (MS), *shoreface* superior (US) e praia subaérea (F).

Esse sistema possui a área-fonte de sedimentos próxima da linha de costa. Nos períodos com acentuada precipitação pluviométrica, geravam fluxos densos nas encostas. Compostos por material mal selecionado, desceriam as escarpas e formariam leques na linha de costa. Os depósitos de leques então seriam retrabalhados pelas ondas do mar, deriva litorânea e pela maré. Esses sedimentos imaturos compostos de areia quartzosa, fina a grossa, com grânulos e clastos de quartzo e minerais placóides de moscovita, ocorrem principalmente nas fácies (Ssg), (St) e (Sli). Desta forma, corroboram com o modelo de deposição proposto, caracterizando um ambiente de sedimentação costeira de alta energia.

Inicialmente a explicação para a camada de lama encontrada entre as cotas – 8 a – 9 m (NMA), contemplava a existência de estuário/laguna. Os dados de descrição de campo e sondagens foram comparados com os modelos clássicos, principalmente os de Walker (1992), Davis & Fitzgerald (2004) e Nichols (2007); que descreveram modelos de sistemas estuarinos/lagunares, e demonstravam a sedimentação de uma camada de lama localizada na parte anterior da barreira (figura 44).

A camada de lama estuarina/lagunar nesta profundidade indicaria que os depósitos deste ambiente foram sobrepostos por fácies arenosas mais profundas, referentes as fácies arenosas de *shorefaces*. Dessa maneira, a barreira pleistocênica teria que ser transgressiva.

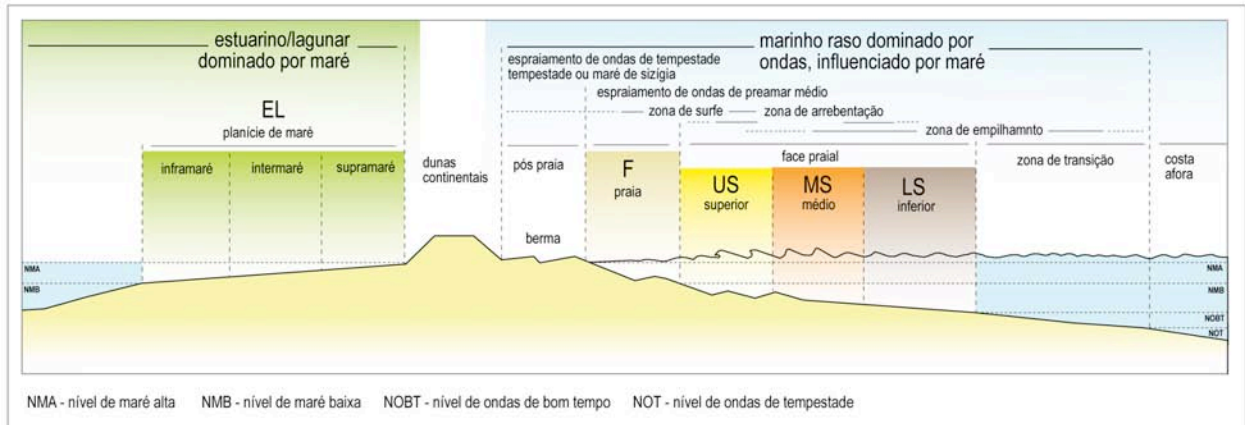


Figura 44: Perfil esquemático dos sistemas estuarino/lagunar dominado por maré e marinho raso dominado por ondas e influenciado por maré, (modificado de Angulo 1992a).

Porém, não foram encontrados indícios que a origem da lama fosse estuarina/lagunar. Não foi encontrado tronco em posição de vida, o que indicaria a deposição estuarina/lagunar *in situ* dos sedimentos. Além do mais, o foraminífero presente nos sedimentos, apesar de ser indicativo de ambiente estuarino, pode ter sido transportado até a plataforma.

Com relação às estruturas e fácies, Souza (2005) identificou camadas com fácies (Fm), (FI), (Sf) e (Sr) na barreira holocênica, indicativas de ambiente de *shoreface* inferior. A presença de alternadas fácies (FI), (Sf) e *wavy*, não se restringe apenas ao ambiente estuarino. As associações de fácies dos ambientes estuarinos/lagunares e de *shoreface* inferior possuem muitas características e comum.

A associação de facies nos sedimentos estuarinos/lagunares do testemunho (S5), pleistocênicos (b), possuem muitas similaridades, tanto na composição como na disposição das estruturas internas (figura 45), e foram interpretados por Souza (2005) como sedimentos de ambiente de *shoreface inferior*. Compostos por areia fina a muito fina e lama, demonstram uma alternância de momentos de maior e menor energia no sistema, indicado pela intercalação de fácies (Fm), (FI), (Sf) e *wavy*.

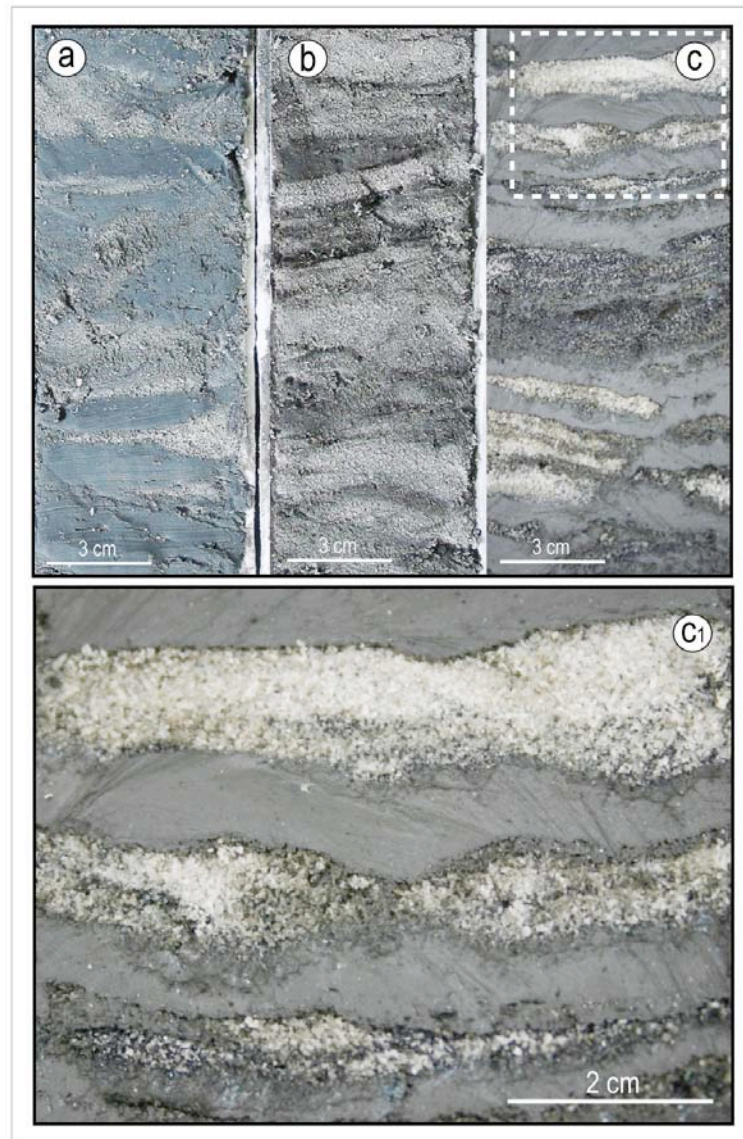


Figura 45: (a) sedimentos *shoreface inferior* (LS) holocênicos do testemunho S5 (Souza 2005); (b) sedimentos estuarino/lagunares (EL) pleistocênicos do testemunho S5 (Souza 2005); (c) sedimentos de *shoreface inferior* (LS) do testemunho S03; (c1) ampliação de (c), mostrando alternância de lâminas de lama e de areia. Nas lâminas de composição arenosa é possível observar uma granodecrescência ascendente (FUP), e uma concentração de minerais pesados na base. A intercalação de fácies (Fm), (Fl), (Sf) e *wavy*, sugerem influência de eventos de grande energia, ondas de tempestades, alternadas com momentos de baixa energia.

As estruturas sedimentares e/ou as associações de fácies encontradas nos sedimentos pleistocênicos de *shoreface inferior* (c) do testemunho S03, também possuem alternância de lâminas de lama e de areia. Porém, é possível observar no quadro (c1), que nas lâminas de composição arenosa possuem uma granodecrescência ascendente (FUP), mais expressiva do que aquelas encontradas nos sedimentos

holocênicos, a granulação das areias quartzosas é de areia fina a média. É possível observar também uma expressiva concentração de minerais pesados na base dessas camadas. A intercalação das fácies (Fm), (Fl), (Sf) e *wavy*, sugerem também a influência de eventos de grande energia, ondas de tempestades, alternadas com momentos de calmaria. Mas no ambiente marinho raso dominado por ondas, a quantidade energia no sistema é superior quando comparada com o ambiente estuarino/lagunar, principalmente quando submetidos a eventos de tempestades. Desta forma, podemos atribuir as fácies do testemunho S03 à associação fácies *shoreface* inferior.

Os tubos *Ophiomorpha* atribuídos a *Callichirus* sp permitiram estimar que o paleonível marinho à época de formação da barreira era de, pelo menos, oito 8 m superior ao atual.

A existência de moldes de bivalves remete às condições de pH ácido das águas, que dissolveu o carbonato das conchas. A posição com concavidade voltada pra baixo, associada à fácies (Sli), indica deposição em regime de fluxo superior.

O ambiente deposicional pode ser interpretado como de *foreshore*, *shoreface* superior, médio e inferior. Nesse ambiente, barras de canais, formaram mega-ondulações, geradas por correntes de deriva longitudinal. A interpretação ambiental é reforçada pelas relações com a (Sli), que são atribuídas à ambiente de *foreshore*. Nessa fácies observamos também a presença de tubos de *Ophiomorpha*, atribuído a *Callichirus major*.

As fácies do ambiente estuarino/lagunar pode ter se desenvolvido, mas não foram encontradas na área de estudo. É possível também, que na evolução da barreira, não houve a preservação dos depósitos; ou não houve espaço para a criação de um estuário/laguna, o que pode ter resultado na ausência desses depósitos na barreira pleistocênica. Desse modo, as associações de fácies do ambiente marinho raso podem estar associadas à progradação lateral de um esporão que tinha vetores de crescimento para NNE, paralela a linha de costa atual, e para NNW, para o interior do estuário (figura 46).

Uma outra possibilidade é que a lama das camadas mais superiores seja de origem lagunar. Pode ter ocorrido primeira a deposição dos sedimentos de *shorface*, e com o desenvolvimento do esporão, proporcionou a formação de uma laguna onde foi deposita a camada de lama.

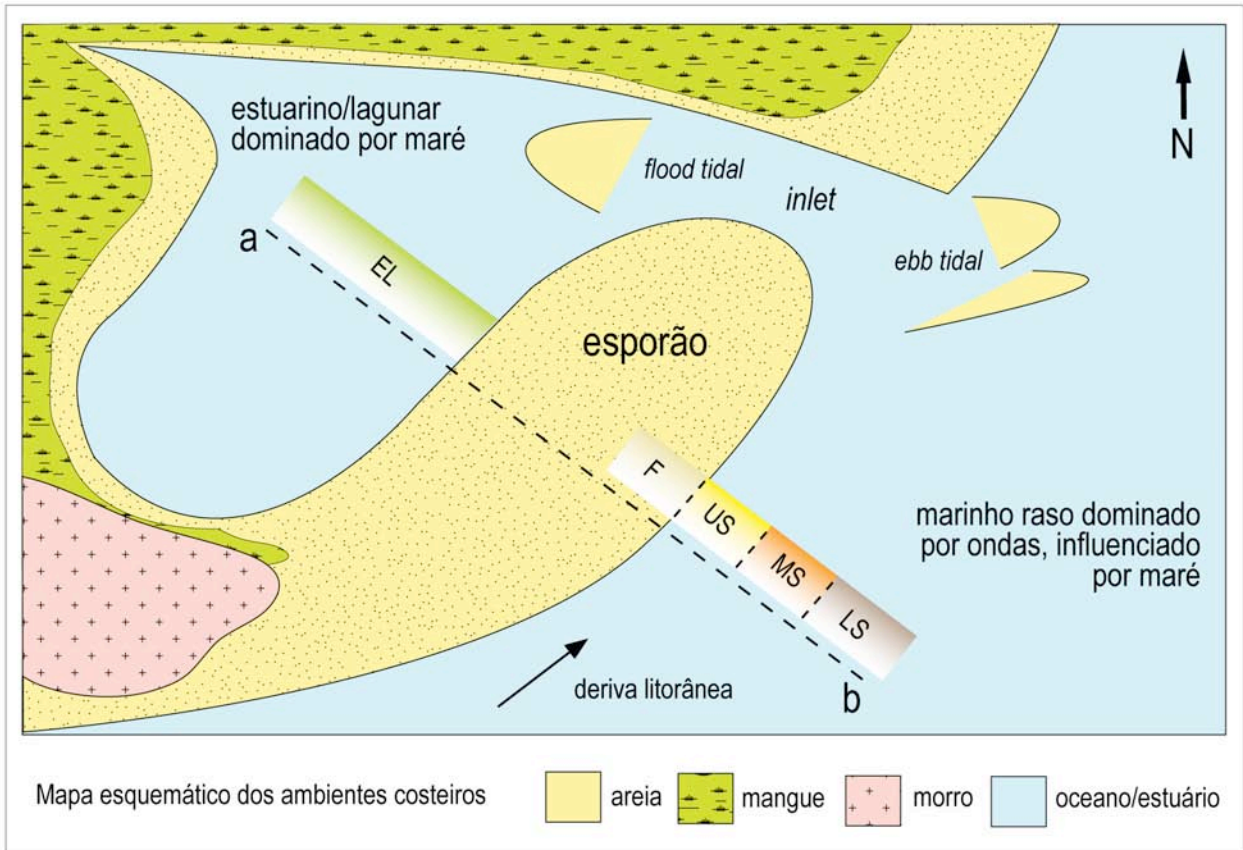


Figura 46: Mapa esquemático dos sistemas estuarinos/lagunar dominado por maré e marinho raso dominado por ondas e influenciado por maré.

Possíveis canais estuarinos, *inlets*, poderiam ser responsáveis pelo fornecimento de material com maior granulação, areia mais grossa mal selecionada, a qual seria retrabalhada pelas correntes de deriva litorânea. A fácies (St) com direções predominantes para a costa e em direção para o mar (correntes de retorno), pode ter sido formada durante tempestades enquanto (Ssg), com direções paralelas à costa, pode ter sido formada pelas correntes de deriva litorânea longitudinal nos canais da zona de surfe.

A ciclicidade observada nas lâminas frontais de sigmóides, fácies (Ssg), corresponde à influência da maré devido à proximidade de uma desembocadura estuarina, alternando *drapes de argila*, nos momentos de baixa energia das ondas e da influência das marés.

Os *drapes de argila* indicam que após o fluxo responsável pela migração, dunas subaquosas, houve períodos de menor energia, nos quais as argilas foram depositadas sobre (Sli) e (Sr).

A fácies (Ssw) está relacionada com eventos de grande energia, tempestades e tormentas. A presença de bioturbações sugere também um ambiente calmo, de mar raso, possivelmente transicional com ação das ondas e marés.

Eventos de alta energia ficaram registrados nas fácies arenosas, principalmente pela fácies areia média a grossa, com grânulos e seixos de quartzo (Ssg) e (Sp).

Podem ser reconhecidas as fácies (Sf), (Fm), (Fl) correspondentes a *shoreface* inferior no limite com a zona de transição. A fácies (Fm), algumas muito bioturbadas e com restos vegetais, e fragmentos de troncos e raízes transportados, são indicativas de ambiente de plataforma. As fácies indicam predomínio de processos de decantação, associados com intensa atividade biológica, alternada com períodos de maior energia, devido à influência tempestades.

A *Blysmaphera brasilienses* encontrada nos sedimentos lamosos das sondagens é autóctone, indica fácies depositadas em ambiente estuarino ou marinho raso, podendo caracterizar a proximidade de um estuário. Essa espécie de foraminífero é atualmente encontrada em manguezais dentro da Baía de Paranaguá. De acordo com Brönnimann (1988) ela também ocorre em manguezais de Guaratiba (RJ) e Acupe (BA) e é rara em águas marinhas rasas. Segundo este autor, em sedimentos marinhos esta espécie é alóctone e provavelmente é transportado da baía para áreas rasas da plataforma, como foi evidenciado por Veiga *et al.* (2006), como a única espécie de foraminífero registrada nos sedimentos pleistocênicos da plataforma paranaense.

A ausência de foraminíferos e matéria orgânica a profundidades menores que dois metros nos sedimentos da área de estudo, pode ser explicada pela exposição pós-deposicional ao ambiente mais oxidante, que teria consumido este material.

Os gêneros *Ilex*, *Inga* e *Calyptanthes* sugerem a ocorrência de floresta subtropical à época de formação da barreira e a espécie *Laguncularia racemosa* indica a presença de mangue.

Ambas estariam bordejando o paleoestuário/laguna. Como não foi encontrado nenhum tronco em posição de vida, todo material correspondente aos troncos e restos de troncos, foi transportado, o que pode ser evidenciado pelo grau de arredondamento que as madeiras possuem. Para que a *Blysmasphaera brasiliensis* e as madeiras, ambas as espécies características de ambiente estuarino/lagunar, fossem transportadas até a *shoreface* inferior, seria necessária a existência de um ou mais *inlets*, que fariam a comunicação com o mar aberto.

A sobreposição das associações de fácies arenosas (*shoreface* média, superior e *foreshore*) sobre as lamas (*shoreface* inferior) e as direções das paleocorrentes, sugere uma barreira regressiva no Pleistoceno tardio.

10 Referências bibliográficas

Allen, G.P. and Posamentier, H.W., 1993. Sequence stratigraphy and facies model of an incised valley fill: the Gironde estuary, France. *Journal of Sedimentary Petrology*, **63**: 378-392.

Angulo, R. J. 1990. O manguezal como unidade dos mapas geológicos. In: Simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira, 2, Águas de Lindóia. *Resumos Expandidos...* ACIESP. São Paulo, **2**: 54-62.

Angulo, R. J. 1992a. *Geologia da planície costeira do Estado do Paraná*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 334p.

Angulo, R. J. 1992b. Ambientes de sedimentação da planície costeira com cordões litorâneos no Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, **40**: 69-114.

Angulo, R. J. 2004. Mapa do Cenozóico do litoral do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, v. 55, n. 1, p. 16-30.

Angulo, R. J.; Absher, T. M. 1992. Sedimentos paleoestuarinos da planície costeira do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, **40**: 115-135.

Angulo, R. J.; Pessenda, L. C. R.; Souza, M. C. 2002. O significado das datações ao ¹⁴C na reconstrução de paleoníveis marinhos e na evolução das barreiras quaternárias do litoral paranaense. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 95-106.

Angulo, R. J.; Souza, M. C.; Assine, Mario Luis; Pessenda, L. C. R. ; Disaró, Sibebe T. 2008. Chronostratigraphy and radiocarbon age inversion in the Holocene Paraná regressive barrier. *Marine Geology*, v. 252, p. 111-119.

Angulo, R.J. 1999. Morphological characterization of the tidal deltas on the coast of the State of Paraná. *Anais Acad.Bras.Ciênc.*, São Paulo, **71**(4-II) :935-959.

Angulo, R.J.; Pessenda L.C.R.; Souza, M. C. 2002. O significado das datações ¹⁴C do litoral paranaense na reconstrução de paleoníveis marinhos e na evolução das barreiras

do Pleistoceno Superior Holoceno. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **32**(1):95-106.

Barreto, A. M. F.; Bezerra, F. H. R.; Suguio, K.; Tatumi, S. H.; Yee, M.; Paiva, R. P.; Munita, C. S. 2002. Late Pleistocene marine terrace deposits in northeastern Brazil: sea-level change and tectonic implications. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.*, 179: 57-69.

Bernart, M.; Martin, L.; Bittencourt, A. C. S. P.; Villas-Boas, G. S. 1983. Datation lo/U du plus haut niveau marin du dernier interglaciare sur le côte du Brésil. Utilization du ^{229}Th comme traceur. *CR Acad Sci Paris* 296: 197-200.

Bigarella J. J. 1946. Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. *Arq. Biol. Tecn.*, Curitiba, v.1. p.75-11.

Bigarella J. J. 1965. Sand-ridge structures from Paraná coastal plain. *Marine Geology*, Amsterdam, **3**:269-278.

Bigarella, J.J.; Freire, S.S.; Salamuni, R.; Viana R. 1966. Contribuição ao estudo dos sedimentos praias recentes, II- Praias de Matinho e Caiobá. *Boletim da Universidade Federal do Paraná, Geografia Física* no 6, 109 p.

Bittencourt, A. C. S. P., Martin, L., Vilas Boas, G. S., Flexor, J. M. 1979. Quaternary marine formations of the coast of the State of Bahia (Brazil). *Proceedings of the International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*. São Paulo, Brazil, pp. 232–253.

Bloom, A. L., Broecker, W. S., Chappell, J. M. A., Matthews, R.K., Mesolella, K.J., 1974. Quaternary sea level fluctuations on a tectonic coast: New $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ dates from the Huon Peninsula, New Guinea. *Quat. Res.* 4, 185–205.

Brönnimann, P. 1988. Two new recent Allogromiine and textulariine Genera (Protozoa: Foraminiferida) from the Brazilian Shelf. *Revue de Paléobiologie*, 7(1):33-42.

Camargo, R.; Marone, E. 1995. Comportamento do vento de superfície em Pontal do Sul (PR, Brasil): análise preliminar. In: Congresso Latino Americano de Ciências do Mar, 6, Mar Del Plata, *Resumos Expandidos...* **1**: 63.

Camargo, R.; Marone, E.; Silva Dias, P.L. 1996. Detecção do sinal de brisa no registro de vento de Pontal do Sul (PR). In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9, Campos do Jordão, *Anais...* São Paulo, **3**:1036-1040.

Chappell, J., Shackleton, N. J., 1986. Oxygen isotopes and sea level. *Nature* 324, 137–140.

Cowan E. J. 1991. The large-scale architecture of the fluvial Westwater Canyon Member, Morrison Formation (Jurassic), San Juan Basin, New Mexico. In: Miall A. D., Tyler N. (eds). *The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments, and its implications for hydrocarbon discovery and recovery*. SEMP, (Conc. Sedimentol. Paleontol. 3), 80-93.

Cowell P. J., Roy P. S. 1988. *Shoreface transgression model: programming guide (outline, assumptions and methodology)*. Unpub. Report, Coastal Studies Unit, Marine Studies Centre, University Sydney, 23p.

Cowell P. J., Roy P. S., Jones R. A. 1991. *Shoreface transgression model: application to management of coastal erosion*. In: Brierly G., Chappell J. (eds). *Applied Quaternary Studies*. Canberra, Department of Biogeography and Geomorphology, ANU, 57-73.

Curray J. R., Emmel F. J., Crampton P. J. S. 1969. Holocene history of strand plain, lagoon coast, Nayrit, Mexico. In: Castañeras A. A. & Phleger F. B. (eds). *Coastal Lagoons – a symposium*: Universidad Nacional Autonoma de Mexico/UNESCO, Mexico, 63-100.

Dalrymple, R.W.; Zaitlin, B.A. and Boyd, R., 1992. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal Sedimentary Petrology*, **62**(6): 1130-1146.

Davies R. A., Clifton H. E. 1987. Sea-level change and the preservation potential of wave-dominated and tide-dominated coastal sequences. In: Nummedal D., Pilkey O. H., Howard J. D. (eds). *Sea-levels fluctuation and coastal evolution*. SEMP Spatial Publ. N. 41, 167-187.

Davis Jr., R. A.; Fitzgerald, D. M. 2004. *Beaches and Coasts*. Blackwell Science, 419p.

- Dillenburg S. R., Roy P. S., Cowell P. J., Tomazelli L. J. 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). *Journal of Coastal Research*, Florida, **16**(1): 71-81.
- Dillenburg S. R., Tomazelli L. J., Barbosa E. G. 2003. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. *Marine Geology*, Amsterdam, 2003: 43-56.
- Dillenburg, S; Hesp, P. 2009. Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil. Lecture Notes in Earth Sciences. Springer-Verlag, Berlin, 380p.
- Dodge, R.E., Fairbanks, R.O., Benninger, L.K., Murrassa, F., 1983. Pleistocene sea levels from raised coral reefs of Haiti. *Science* 219, 1423–1425.
- Dominguez J. M. L., Bittencourt A. C. S. P., Martin L. 1981. Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltáicas dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, 11. 40: 227-237.
- Dominguez, J. M. L. 2009. Chapter 2: The Coast Zone of Brazil, pp. 17-51. In: Dillenburg, S; Hesp, P. 2009. Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil. Lecture Notes in Earth Sciences. Springer-Verlag, Berlin, 380p.
- Fasano J.L., Isla F.I., Schnack E. J. 1984. Movimentos relativos de la interfase continental/oceánica en el sector oriental de la Península Valdés, Chubut, Argentina. Evidencias aportadas por depósitos litorales cuaternarios. International symposium on sea-level and coastal evolution during late Quaternary. Abstract, IGCP 200-INQUA, Mar del Plata, p. 32-35.
- Field M. E., Tricardi F. 1991. Regressive coastal deposits on Quaternary continental shelves: preservation and legacy. In. *Shoreline to Abyss*. SEPM Special Publ. N. 46, 107-122.
- Fritz W. J., Moore J. N. 1988. *Basics of Physical stratigraphy and sedimentology*. John Wiley & Sons Inc. 337p.

- Giannini P. C. F. 1987. Sedimentação quaternária na planície costeira de Peruíbe-Itanhaém (SP). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de mestrado, 2v., 234p., 3 mapas.
- Hayes M. O. Hulmes L. J., Wilson S. J. 1974. Importance of tidal inlets in erosional and depositional history of barriers islands. Geological Society of America. *Abstract with Programs*, **6**: 785.
- Hearty, P.J., 1987. New data on the Pleistocene of Mallorca. *Quaternary Science Reviews* 6, 245–257.
- Hearty, P.J., Kaufman, D.S., Olson, S.L., James, H.F., 2000. Stratigraphy and whole-rock amino acid geochronology of key Holocene and Last Interglacial carbonate deposits in the Hawaiian Islands. *Pacific Science* 54 (4), 423–442.
- Hearty, P.J., Neumann, A.C., 2001. Rapid sea-level and climate change at the close of the Last Interglaciation (MIS 5e): evidence from the Bahama Islands. *Quaternary Science Reviews* 20, 1881–1895.
- Hearty, P.J.; Hollin, J.T.; Neumann, A.C.; O’Leary, M.J.; McCulloch, M. 2007. Global sea-level fluctuations during the Last Interglaciation (MIS 5e). *Quaternary Science Reviews*. (26) 2090–2112.
- Hollin, J.T., Hearty, P.J., 1990. South Carolina interglacial sites and stage 5 sea levels. *Quaternary Research* 33, 1–17.
- Horn Filho, N. O. 2006. O Pleistoceno superior da planície costeira da ilha de São Francisco do Sul, SC: Aspectos geomorfológicos, sedimentológicos e evolutivos. In: Braga, E. de S.. (Org.). *Oceanografia e Mudanças Globais - III Simpósio Brasileiro de Oceanografia*, de 4 a 8 de dezembro de 2006. 1 ed. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.
- Ipardes. 2001. *Zoneamento do litoral paranaense*. Curitiba. Convênio: Ipardes E Sepl.
- Isla F. I. 1998. Uniformitarismo transgressivo? *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, 46: 165-174.

- Kjerve, B. 1990. *Manual for investigation of hydrological processes in mangrove ecosystems*. UNESCO/UNDF Regional Project "Mangrove Ecosystems in Asia and the Pacific" (RAS/79/002 e RAS/86/120), 79p.
- Klein, R.M. 1984. Aspectos dinâmicos da vegetação do sul do Brasil. *Sellowia*. **36**:5-54.
- Knoppers, B. A.; Brandini, F. P.; Thamm, C. A. 1987. Ecological studies in the bay of Paranaguá. In: *Some physical and chemical characteristics*. Curitiba Nerítica, **2**: 1-36.
- Land, L.S., Mackenzie, F.T., Gould, S.J., 1967. The Pleistocene history of Bermuda. *Geological Society of America Bulletin* **78**, 993–1006.
- Lessa, G.C.; Angulo, R.J.; Giannini, P.C.; Araújo, A.D. 2000. Stratigraphy and Holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil. *Mar. Geol.*, **165**:(1-4) 87-108.
- Lessa, G.C.; Myers, S.R.; Marone, E. 1998. Holocene stratigraphy in the Paranaguá Bay estuary, southern Brazil. *Journal of Sedimentary Research*. **68**(6) 87-108.
- Maack, R. 1960. *Geografia física do Estado do Paraná*. Curitiba: Banco BADEP, UFPR, IBPT, 350p.
- Marone, E.; Jamiyanaa, D. 1997. Tidal characteristics and a variable boundary numerical model for the M2 tide for the Estuarine Complex of the Bay of Paranaguá, PR, Brazil. *Nerítica*, Curitiba, **11**(1-2): 95-107.
- Martin L., Bittencourt A. C. S. P., Vilas-Boas G. S., Flexor J. M. 1980. Mapageológico do quaternário costeiro do estado da Bahia. Salvador, CPRM. Esc. 1: 250.000 e Texto explicativo.
- Martin L., Suguio K., Flexor J. M., Azevedo A. E. G. 1988. Mapa geológico do Quaternário costeiro dos Estados do Paraná e Santa Catarina. *Série Geol. DNPM*. Brasília, n.28. 40p. 2 mapas.
- Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Vilas Boas, G.S., 1982. Primeira ocorrência de corais pleistocênicos na costa brasileira: datação do máximo da penúltima transgressão. *Rev. Ciências da Terra* **1**, 16–17.

- Martin, L., Vilas-Boas G. S., Flexor J. M. 1979. Introdução ao estudo do quaternário do litoral do estado da Bahia – Trecho salvador Ihéus. *Revista Brasileira de Geociências*. 9: 309-320.
- Martin, L.; Suguio, K. 1976. O quaternário marinho no litoral do Estado de São Paulo. In: *Anais do 29º Congresso Brasileiro de Geologia*. 1, 281-294.
- Martin, L.; Suguio, K. 1986. Excursion route along the coastal plains of states of Paraná and Santa Catarina. In: *International Symposium Of Sea Level Changes And Quaternary Shorelines*, São Paulo. *Anais... INQUA*,. São Paulo, Especial Publications, 1: 39-124.
- Martin, L.; Suguio, K., 1975. The state of São Paulo coastal marine Quaternary geology – the ancient strandlines. *An. Acad. Bras. Ciências*, 47 (suplemento):249-263 (65).
- Martin, L; Dominguez, J.M.L.; Suguio, K.; Bittencourt, A.C.S.P.; Flexor, J.M. 1983. Schéma de la sédimentation quaternaire sur la partie centrale du littoral brésilien. *Cahiers ORSTOM, Série Géol.*, vol. XIII, 1:59-81
- Martison D. G., Pisias, N. G., Hayes, J. D., Imbrie, J., Moore, T. C., Schakleton, N. J. 1987. Age dating and the orbital theory of ice ages: development of high-resolution 0-300.000 year chronostratigraphy, *Quaternary Research*, 27, 1-29.
- Masselink G., Lessa G. C. 1995. Barrier stratigraphy on sedimentology on the macrotidal central Queensland coastline, Australia. *Journal of Coastal Research*, 11(2): 4545-477.
- McCubbin D. G. 1992. Barrier-Island and strand plain facies. In: Scholle P. A. & Spearing d. (eds). *Sandstone depositional environments*. The American association petroleum geologists, AAPG, 247-279.
- Miall, A.D. 1978. Lithofacies types and vertical profile models of braided river deposits, a summary. In: Miall, A.D. (Ed.) *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Calgary, pp. 597-604.
- Miall, A.D. 1999. *Principles of sedimentary basin analysis*. New York, Springer-Verlag. 668 p.

- Mineropar. 1989. Mapa geológico do Estado do Paraná. Brasília: DNPM, 1989. Escala 1:650.000.
- Miranda L. B. 1996. *Cinemática e dinâmica de estuários*. São Paulo: Instituto Oceanográfico da USP (IOF827), 1: 360 p.
- Muhs, D.R., 2006. Last Interglacial: Timing and Environment (LITE). <http://esp.cr.usgs.gov/info/lite> (Last modified 15-Mar-2006, accessed in 12-Jun-2006).
- Muhs, D.R., Kennedy, G.L., Rockwell, T.K., 1994. Uranium-series ages of marine terrace corals from the Pacific Coast of North America and implications for last-interglacial sea level history. *Quat. Res.* 42, 72–87.
- Neumann, A.C., Hearty, P.J., 1996. Rapid sea-level changes at the close of the Last Interglacial (stage 5e) recorded in Bahamian Island geology. *Geology* 24, 775–778.
- Neumann, A.C., Moore, W.S., 1975. Sea level events and Pleistocene coral ages in the northern Bahamas. *Quat. Res.* 5, 215–224.
- Nichol, S.L.; Boyd, R. and Penland, S., 1994. Stratigraphic response of wave dominated estuaries to different relative sea-level and sediment supply histories: Quaternary case studies from Nova Scotia, Louisiana and eastern Australia. *Incised-valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences*. SEPM Special Pub., 51: 265-283.
- Nichols M.M.; Johnson, G.H. and Peebles, P. C. 1991. Modern sediments and facies model for a microtidal coastal plain estuary, the James River Estuary, Virginia. *Journal of Sedimentary Petrology*, 61 (6): 883-899.
- Nichols, G. 2007. *Sedimentology & atratigraphy*. BlackWell Publishing, London, 355p.
- Paisani, J.C. 2004. Utilização de diagrfias granulométricas no estabelecimento da lito e pedostratigrafia de rampa arenosa costeira: o caso Praia Mole (Ilha de Santa Catarina). *Geografia*. v. 13, n. 2.
- Phillips, J. D. 2007. The Perfect Landscape. *Geomorphology*, 84: 159-169.

Portobrás. 1983. Relatório de apresentação das medidas metereológicas observadas em Pontal do Sul, Paranaguá – PR, período set. 1982 a dez. 1986. Rio de Janeiro, Brasil: INPH. 189p.

Quadros C. J. L. 2002. 2002. *Variações morfológicas e volumétricas associadas à incidência de sistemas frontais em dunas praias arenosas do litoral paranaense*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, UFPR, dissertação de mestrado. 57 p.

Reading, H.G. 1996. Sedimentary environments, processes, facies and stratigraphy. Blackwell Science, Oxford, pp. 154-231.

Reineck, H. E.; Singh, I. B. 1973. Depositional sedimentary environments. Berlin: Springer-Verlag, 439 p.

Reison, G.E. 1992. Transgressive barrier island and estuarine systems. In: R.G. Walker; N.P. James, Facies models: response to sea-level changes. Stittsville, Geological Association of Canadá, p. 179-194.

Rodrigues, S. de A. 1966. *Estudos sobre Callianassa: sistemática, biologia e anatomia*. São Paulo. 168p. Tese (Doutorado) Instituto de Biociências Universidade de São Paulo. (inédito).

Roy, P.S., 1994. New South Wales estuaries: their origin and evolution. In: B.G. Thom. *Coastal Geomorphology in Australia*, Sydney, Academic Press, 99-121.

Schakleton, N.J., 1969. The last interglacial in the marine and terrestrial record. Proc. R. Soc. Lond. B 174, 135–154.

Schakleton, N.J., 1987. Oxygen isotopes, ice volume and sea level. Quat. Sci. Rev. 6, 183–190.

Souza, M. C. 1999. Mapeamento da Planície Costeira e Morfologia e Dinâmica das Praias do Município de Itapoá, Estado de Santa Catarina: Subsídios À Ocupação. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Paraná, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. 99p.

Souza, M. C. 2005. Estratigrafia e evolução das barreiras holocênicas paranaenses, sul do Brasil. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Paraná, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. *Orientador*: Rodolfo José Angulo. P. 95.

Souza, M.C.; Angulo, R.J.; Pessenda, L.C.R. 2001. *Evolução Paleogeográfica da Planície Costeira de Itapoá, litoral norte de Santa Catarina, Revista Brasileira de Geociências*, 31(2):223-230.

Suguio K., Martin L. 1976a. Brazilian coastline quaternary formations the States of São Paulo and Bahia litoral zone evolutive schemes. *Anais Academia brasileira de Ciências*, 48 (suplemento): 325-334.

Suguio K., Martin L. 1976b. Mecanismos de Gênese das planícies sedimentares quaternárias do litoral do estado de São Paulo. In: Congress. Brás. Geol., 29. Ouro Preto. *Anais...Ouro Preto*, SBG, v.1 p. 295-305.

Suguio K., Martin L. 1978. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: *Special Publication n.1, International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary – The Brazilian National Working Group for the IGCP, Project 61*, Instituto de Geociências da USP.

Suguio, K., Angulo, R.J., Carvalho, A.M., Corrêa, I.C.S., Tomazelli, L.J., Villwock, J.A., Vital, H., 2005. Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. In: Souza, C.R.G., Suguio, K., Oliveira, A.M.S., Oliveira, P.E. (Eds.), *Quaternário do Brasil*. Holos Editora, Ribeirão Preto, São Paulo, pp. 114–129.

Suguio, K.; Martin, L.; Bittencourt, A.C.S.P.; Dominguez, J.M.L.; Flexor, J.M.; Azevedo, A. E. G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Rev. Bras. Geocienc.* **15**:273-286.

Suguio, K.; Rodrigues, S. de A.; Tessler, M.G.; Lambooy, E.E. 1984. Tubos de *Ophiomorphas* e outras feições de bioturbação na Formação Cananéia, Pleistoceno da

- planície costeira Cananéia-Iguape, SP. In: SIMP. RESTINGAS BRAS., 1. Niterói, 1984. *Anais...* Niterói, CEUFF. p.111-122.
- Tomazelli, L. J.; Dillenburg, S. R. 2007. Sedimentary facies and stratigraphy of a last Interglacial coastal barrier in south Brazil. *Mar. Geol.* 244: 33-45.
- Tomazelli, L.J.; Villwock, J.A. 2005. Mapeamento geológico de planícies costeiras: O exemplo da costa do Rio Grande do Sul. **Gravel**. Porto Alegre, n.3, p. 109-115.
- Tucker, M. E. 2001. *Sedimentary Petrology: an Introduction to the Origin of sedimentary rocks*. Blackwell Science, Oxford. 262p.
- Veiga, F. A.; Angulo, R. J.; Sá, F.; Odreski, I. L. R.; Llamour, M. R.; Disaró, S. T. 2006. Origin of mud deposits in a wave dominated shallow inner continental shelf of the State of Paraná coast, southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, Itajaí, v.SI-39, p.262-265.
- Veiga, F.A. 2006. Caracterização da plataforma continental interna rasa na porção central do litoral do estado do Paraná. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 122p.
- Villwock J. A., Tomazelli L. J., Loss E. L., Dehnhardt, E. A., Horn Filho N. O., Bachi F. A., Dehnhardt B. A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. *Quaternary of South America and Antarctic peninsula*. Balkema, 4: 79-97.
- Walker R.G., James N.P. (eds) 1992. *Facies models: response to sea level change*. Geological Association of Canada, 454 p.
- Woodroffe, C. D. 2003. *Coasts, process and evolution*. Cambridge University Press. London, 623p.
- Zalan, P. V.; Oliveira, J. A. B. 2005. Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. *Bol. Geoc. Petrobras*, 13: 269-300.
- Zenkovich, V. P. 1967. *Process of coastal development* (Translated by OG Fry and Steers). Oliver and Boyd, Edinburg.

Anexo I - Sondagens

I.I Fotografias dos testemunhos de sondagens S01 e S02



Figura 47: Testemunhos de sondagem S01 e S02, areal das Ilhas III, com as fácies deposicionais indicadas. A altura do segmento de cano de alumínio corresponde a 1 m.

I.I.I Descrição do testemunho de sondagem S01

Comprimento total do testemunho é de 3,21 m, (figura 47).

O sentido da descrição do testemunho de sondagem é da base para o topo.

0-35 cm: Fácies areia maciça (Sm), composta por areia quartzosa branca, fina, bem selecionada, com até 5% de máficos, sem estrutura aparente. Aos 0,37 m contato gradacional com areia quartzosa, fina, branca, bem selecionada, com 10% de máficos, concentrados em planos preferenciais, formando incipientes estratificações cruzadas de baixo ângulo (Sli).

45 cm: Contato gradacional com areia quartzosa, fina, bem selecionada, com aproximadamente 10% de máficos, fácies areia maciça, (Sm).

70-77 cm: Aos 72 cm contato gradacional entre (Sm) e (Sp). Aumento na porcentagem de minerais máficos e de finos. *Drape* com 2,5 mm de espessura, marrom escuro. Sobreposto ao *drape*, intercalação de areias quartzosas claras, com granulação fina; e mais escuras, médias, compondo as fácies estratificação cruzada planar (Sp). O *drape* e as estruturas formadas pela intercalação de areias finas e médias são concordantes, possuem um ângulo de inclinação de aproximadamente 10°.

84 cm: Aumento na granulação, contato erosivo, areia quartzosa, fina a média, moderadamente selecionada (Sm) e areia quartzosa grossa, mal selecionada (Sm).

86 cm: Intercalação de areias quartzosas claras, com granulação fina; e mais escuras, médias, fácies estratificação cruzada planar (Sp). Planos com baixo ângulo de inclinação, fácies areia com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sli).

95 cm: Contato erosivo entre duas fácies (Sp), logo cima do contato *drape* de lama.

100-130 cm: Lâminas de areia quartzosa, fina a média, moderadamente selecionada e finos, intercalada com lâminas de areia quartzosa, grossa mal selecionada, contato erosivo as 120 cm. Essa intercalação forma fácies com estrutura cruzada planar (Sp), a qual tem aproximadamente 10° de inclinação.

130-180 cm: Areia quartzosa, grossa, mal selecionada, sem estrutura. Areia maciça (Sm). Aos 137 cm contato erosivo entre areia fina (Sm) e areia grossa (Sm).

180-196 cm: Areia quartzosa, fina a média, moderadamente selecionada, sem estrutura (Sm). Contato erosivo, passagem brusca de areia fina média (Sm) para areia fina (Sm).

197 cm: Contato erosivo entre a areia quartzosa fina a média sem estrutura (Sm), com areia quartzosa, grossa, mal selecionada com grânulos de quartzo de até 2,5 mm.

200-259 cm: Granodecrescência ascendente, FUP (*Finning Up*), areia quartzosa, grossa, mal selecionada, passa abruptamente para areia quartzosa, fina a média moderadamente selecionada, contato erosivo aos 210 cm. Aos 257 cm contato gradacional areia fina a média (Sm) e areia fina a média (Sp).

260 cm: Fácies areia fina a média com estrutura cruzada de baixo ângulo (Sli), níveis claros e escuros formados pela concentração de máficos (aproximadamente 5%), delimitam as laminações da estrutura.

265 cm: Fácies areia com estrutura cruzada de baixo ângulo (Sli), e lâmina com concentração de matéria orgânica de 1 cm de espessura. Aos 269 cm contato erosivo entre (Sp) e (Sli).

272 cm: Contato erosivo com deposição de *drape* de lama entre duas camadas de areia fina média com (Sli).

275 cm: Lâmina de areia quartzosa, fina a média, moderadamente selecionada, minerais pesados, aproximadamente 5%. Intercalação de areias quartzosas claras, com granulação fina; e mais escuras, médias, fácies areia com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sli).

295 cm: Areia quartzosa fina, bem selecionada, minerais pesados (5%), estrutura maciça, (Sm).

303-311 cm: Bioturbação, tubo de *Ophiomorpha* preenchido por areia fina areia quartzosa fina, bem selecionada, minerais pesados (5%). As paredes marrom escuro, compostas por areia fina e argila. Esses tubos são atribuídos a *Callichirus major*.

311-321 cm: Contato brusco, areia fina quartzosa fina, bem selecionada, minerais pesados, aproximadamente 5%, e finos, em contato com areia fina quartzosa fina, bem selecionada, minerais pesados, aproximadamente 5%, sem finos. Muitas lentes de argila, fácies lama em *drapes*, e nódulos escuros de restos vegetais.

I.I.II Descrição do testemunho de sondagem S02

Comprimento total do testemunho é de 1,70 m, (figura 47).

O sentido da descrição do testemunho de sondagem é da base para o topo.

0-12 cm: Fácies areia maciça, composta por areia quartzosa, clara, fina, bem selecionada, com aproximadamente 5% de minerais pesados, sem estrutura aparente.

12-27 cm: Granulação aumenta, areia quartzosa, fina a média, moderadamente selecionada, aproximadamente 5% minerais pesados, minerais placóides de moscovita, grânulos de quartzo com até 7 mm de diâmetro. Sem estrutura aparente. Aos 27 cm contato gradacional entre fácies areia fina quartzosa a média (Sm) e média a grossa com grânulos de quartzo (Sm).

30-98 cm: Areia quartzosa, média a grossa, mal selecionada, brancas, 5% minerais pesados, minerais placóides de moscovita e grânulos de quartzo. Sem estrutura aparente (Sm) em contato gradacional com areia quartzosa, fina a média (Sm) com grânulos de quartzo.

99-110 cm: Areia quartzosa grossa, mal selecionada, aproximadamente 5% minerais máficos, minerais placóides de moscovita e grânulos de seixos de quartzo. As areias são marrons devido à percolação de óxidos de ferro e matéria orgânica, processo epigenético.

113 cm: Lente de matéria orgânica, restos vegetais. Areia quartzosa, grossa, mal selecionada, aproximadamente 5% minerais pesados, minerais placóides de moscovita e grânulos quartzo. Sem estrutura aparente.

143-170 cm: Diminuição da granulação. Areia quartzosa, fina a média, moderadamente selecionada, aproximadamente 5% minerais pesados, minerais placóides de moscovita, grânulos de quartzo. Aos 159 cm contato erosivo entre areia quartzosa fina moderadamente selecionada e areia quartzosa grossa, mal selecionada; ambas sem estruturas, fácies (Sm).

I.II Fotografia do testemunho de sondagem S03

Comprimento total do testemunho é de 4,35 m, (figura 48).

O sentido da descrição do testemunho de sondagem é da base para o topo.

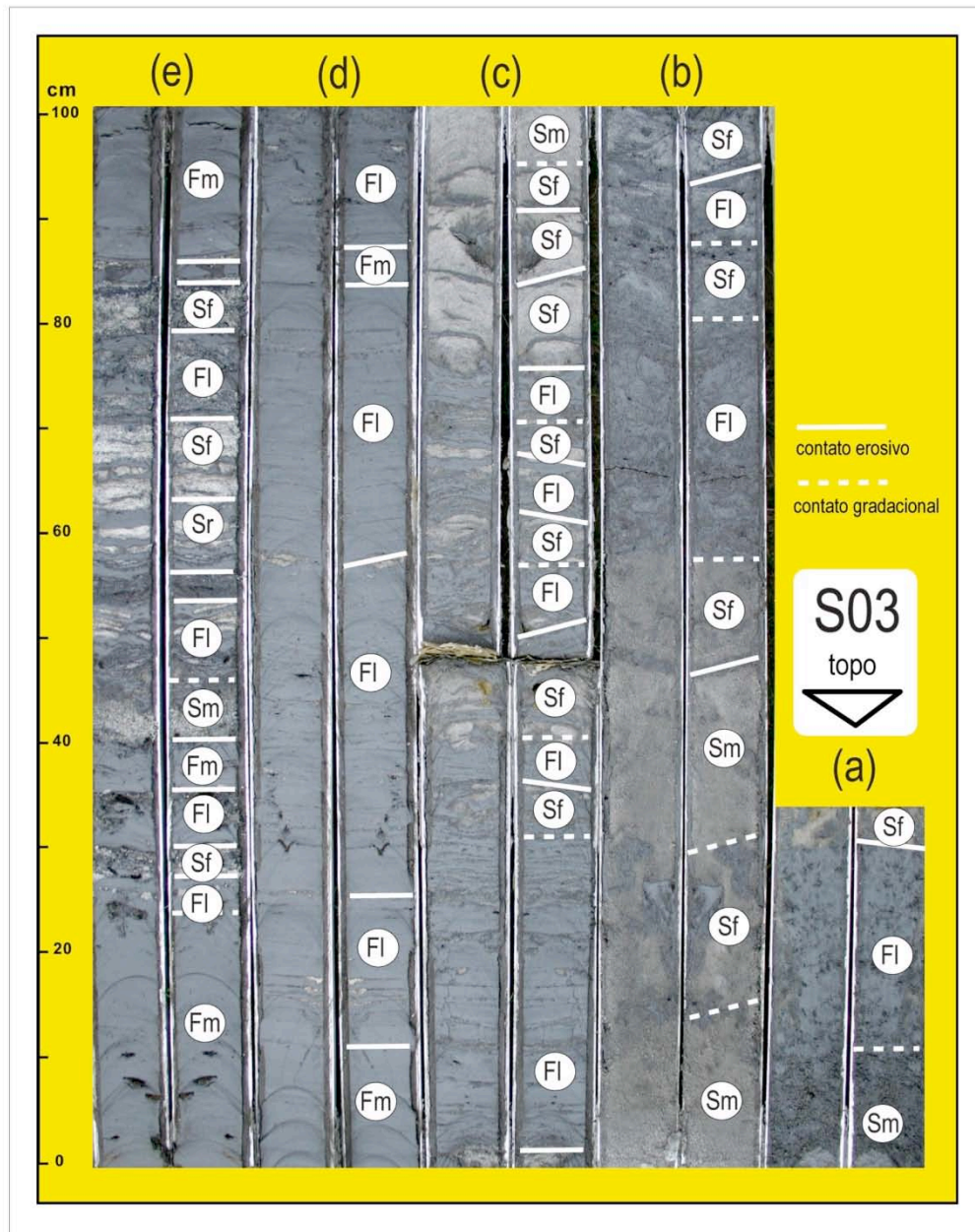


Figura 48: Testemunhos de sondagem S03, areal das Ilhas III, com as fácies deposicionais indicadas. A altura do segmento do cano de alumínio corresponde a 1 m.

I.II.I Descrição do testemunho de sondagem S03

0-22 cm: Lama maciça, escura e plástica, (Fm). Neste intervalo existem pequenas lentes escuras formadas por restos vegetais, algumas com aproximadamente 10 mm de comprimento por 3 mm de espessura.

24-26 cm: Na lama maciça, observam-se lentes de areia quartzosa, fina a média, subangulosa, mal selecionada, aproximadamente 10% de minerais pesados, configurando fácies lama com *linsen* (FI). Fácies formada por processos de decantação com episódicas correntes trativas. Também são encontradas pelotas de lama mais clara, de 3 mm de diâmetro, contato gradacional entre (Fm) e (FI).

28-31 cm: O aumento na proporção de areia quartzosa, fina-média, mal selecionada, com nódulos negros de matéria orgânica. Com o aumento das lentes de areia, a fácies lama com *linsen* (FI), passa para areia com laminação *flaser* (Sf), delimitando *drapes*. contato erosivo entre (FI) e (Sf).

31-33 cm: Predomínio da lama maciça com pequenas lentes de areia fina a média, mal selecionada. Fácies lama com *linsen* (FI). Processos de decantação com episódicas correntes trativas.

35-40 cm: Lama maciça com lentes de areia quartzosa, fina a média, bem selecionada. contato erosivo entre (FI) e (Fm), seguido de erosivo entre (Fm) e (Sm).

41-49 cm: Areia quartzosa, fina a média, mal selecionada, com 10% de minerais pesados, sem estrutura aparente, mas com alternância entre lama e areia, intercalando fácies lama maciça com acamamento *linsen* (FI) e areia com laminação *flaser* (Sf). contato gradacional entre (Sm) e (FI).

50-69 cm: A coalescência dos *drapes* sob camadas de areia quartzosa, fina a média, mal selecionada, resulta no aumento das espessuras de lama, podendo chegar a aproximadamente 17 mm de espessura. Areias com pequenas marcas onduladas, fácies areia com marcas onduladas (Sr), exibem concentração de minerais máficos. contato erosivo entre (FI) e (Fm), seguido de erosivo entre (Fm) e (Sr), e aos 62 cm, de erosivo entre (Sr) e (Sf).

70-77 cm: Quantidade de areia aumenta na intercalação lama/areia. Os *drapes* ficam mais espessos, 10-12 mm de espessura. A intercalação entra lama e areia, nos pontos onde interdigitam-se, a granulação da areia aumenta para areia quartzosa, fina a média com grânulos de quartzo. Contato erosivo entre (Sf) e (FI) seguido de erosivo entre (FI) e (Sf).

77-82 cm: Predomínio de areia com pelotas de lama clara, aproximadamente 10 mm de diâmetro. A granulação aumenta para areia quartzosa, média a grossa.

82-84 cm: Predomínio de lama com lentes de areia, fácies lama com *linsen* (FI).

84-100 cm: Predomínio de fácies lama maciça (Fm). Contato erosivo entre (Sf) e (Fm).

100-116 cm: Fácies lama maciça (Fm) com pequenas lentes, menor que 1 mm de espessura; areia quartzosa, fina a média, moderadamente selecionada. Contato gradacional entre (Fm) e (FI).

116-131 cm: Lentes de areia mais espessas no meio da lama maciça, fácies (FI), com incipientes marcas onduladas.

131-200 cm: Lentes de areia milimétricas e restos vegetais. As lentes de areia e (FI), configuram pequenas marcas onduladas. Contato erosivo entre (FI) e (Fm), seguido de erosivo entre (Fm) e (FI).

203-226 cm: Lentes de areia milimétricas, restos vegetais. Lentes de areia e acamamentos *linsen*, configuram pequenas marcas onduladas (Sr).

227-236 cm: Aumento na proporção de areia, intercalação areia e lama gerando fácies lama com *linsen* (FI) e areia com laminação *flaser* (Sf).

230-233 cm: Lentes de areia mais espessas no meio da lama maciça, fácies lama com *linsen* (FI), com incipientes marcas onduladas de pequeno porte. Contato gradacional entre (FI) e (Sr).

233-276 cm: Aumento na proporção de areia, intercalação areia e lama gerando fácies lama maciça com *linsen* (FI) e areia com laminação *flaser* (Sf). Contato erosivo entre (Sf) e (FI), seguido de erosivo entre (FI) e (Sf), e aos 250 cm, contato erosivo entre (Sf) e (FI).

277-300 cm: Predomínio de areia quartzosa, fina a média, subangulosa, moderadamente selecionada, aproximadamente 5% de minerais pesados. Fácies areia com

acamamento *flaser* (Sf) e *drapes*. Contato erosivo entre (FI) e (Sf), seguido de gradacional entre (Sf) e (Sm).

301-357 cm: Os *drapes* desaparecem gradativamente, predomínio da fácies areia maciça (Sm). Podem ocorrer também concentrações de lama na forma de pelotas e de pequenos *drapes*.

358-398 cm: Intercalação de fácies lama com *linsen* (FI) e areia com laminação *flaser* (Sf). Contato erosivo entre (FI) e (Sf).

398-400 cm: Areia quartzosa, fina a média, passa para média à grossa, mal selecionada, angulosa, com grânulos de quartzo.

412-435 cm: Predomínio de lama, granulação da areia quartzosa, média a grossa, passa para fina a média, na forma de lentes descontínuas, fácies lama com *linsen* (FI). Contato gradacional entre (Sm) e (FI), seguido de erosivo entre (FI) e (Sf).

I.III Fotografias dos testemunhos de sondagens S04, S06 e S07



Figura 49: Testemunhos de sondagem S04, S06 e S07, areal das Ilhas III; e suas fácies deposicionais. A altura do cano de alumínio corresponde a 1 m.

I.III.I Descrição do testemunho de sondagem S04

Comprimento total do testemunho é de 2,70 m, (figura 49).

O sentido da descrição do testemunho de sondagem é da base para o topo.

21-40 cm: Areia quartzosa, fina a média, clara, moderadamente selecionada, grãos subangulosos e minerais pesados, aproximadamente 5%. Sem estruturas e com pequenas lentes de argila de 1,5 mm de espessura. A coalescência das lentes de argila forma pequenos *drapes*. Contato gradacional entre (Sm) e (Sli).

41-50 cm: O teor de argila aumenta a quantidade de *drapes*. Intercalação de fácies lama com *linsen* (FI) e areia com laminação *flaser* (Sf). Alternância de processos de decantação com episódicas correntes trativas. . Contato gradacional entre (Sli) e (Sf) e erosivo entre (Sf) e (FI).

50-77 cm: A areia com finos torna-se um mais escura. A areia quartzosa fina a média passa para média a grossa, com Intercalação de fácies lama com *linsen* (FI) e areia com laminação *flaser* (Sf).

77-82 cm: Lente de areia quartzosa, fina a média, mal selecionada, cristais de quartzo angulosos. Contato erosivo entre (Sf) e (Sm).

82-98 cm: Areia quartzosa, média a grossa, mal selecionada, subangulosa. Intercalação de fácies lama com *linsen* (FI) e areia com laminação *flaser* (Sf).

101-170 cm: Alternância entre areia quartzosa, fina a média e areia quartzosa média a grossa, mal selecionada com grânulos de quartzo e lentes de lama. Sem estrutura aparente.

173-198 cm: Contato abrupto, fácies lama maciça (Fm) e fácies areia maciça (Sm) em forma de cunha. Areia quartzosa, fina a média, bem selecionada, com tons amarelados devido à percolação de óxidos de ferro, processo epigenético. Contato erosivo entre (Fm) e (Sm).

198-270 cm: A areia quartzosa amarela, fina média, bem selecionada, com grânulos de quartzo. Gradativamente passa para areia quartzosa, branca, fina a média, bem selecionada e sem estruturas, com aproximadamente 4% de minerais pesados.

I.III.II Descrição do testemunho de sondagem S06

Comprimento total do testemunho é de 1,22 m, (figura 49).

O sentido da descrição do testemunho de sondagem é da base para o topo.

0-40 cm: Areia quartzosa, grossa, mal selecionada, aproximadamente 5% de minerais máficos, e grânulos de quartzo. Fácies areia maciça (Sm).

40-50 cm: Areia quartzosa, fina a média, mal selecionada, minerais máficos (5%). Fácies areia maciça (Sm).

68cm: Lente milimétrica de argila cinza clara.

50-100 cm: Areia quartzosa, grossa, mal selecionada, minerais máficos, aproximadamente 10%, e grânulos de quartzo. Fácies areia maciça (Sm).

100-122 cm: Areia quartzosa, fina a média, mal selecionada, minerais máficos (5%), e minerais placóides de moscovitas. Fácies areia maciça (Sm).

I.III.III Descrição do testemunho de sondagem S07

Comprimento total do testemunho é de 2,64 m, (figura 49).

O sentido da descrição do testemunho de sondagem é da base para o topo.

0-22 cm: Perda de material.

22-82 cm: Areia quartzosa, fina, clara, moderadamente selecionada, com aproximadamente 10% de minerais pesados. Os minerais pesados estão concentrados em planos preferenciais, formando laminações incipientes de possíveis estratificações cruzadas planar (Sp) e/ou de baixo ângulo (Sli). Contato gradacional entre (Sp) e (Sli).

86-88 cm: Lama em *drapes*, 1mm de espessura.

90-100 cm: Areia quartzosa, fina, moderadamente selecionada, com aproximadamente 10% de minerais pesados, concentrados em planos preferenciais, formando incipientes estratificações cruzadas planares (Sp) e/ou de baixo ângulo (Sli). Contato gradacional entre (Sli) e (Sm).

101-150 cm: Lâmina de areia quartzosa, fina a média, moderadamente selecionada e fina, intercalada com lâminas de areia quartzosa, grossa mal selecionada. Essa

intercalação forma fácies areia com estrutura cruzada planar (Sp), com até 10° de inclinação. Pontos com concentração de restos vegetais. Aos 125 cm contato gradacional entre (Sp) e (Sli), depois erosivo entre (Sp) e (Sli).

150-190 cm: Lâminas de areia quartzosa, fina a média, moderadamente selecionada e finos, intercalada com lâminas de areia quartzosa, grossa mal selecionada. Fácies areia com estrutura cruzada de baixo ângulo (Sli). Concentrações de minerais pesados, máficos e finos, formam pequenas lentes milimétricas descontínuas e intensamente bioturbadas. Aos 151 cm contato gradacional entre (Sp) e (Sli), depois erosivo entre (Sli) e (Sp).

190-200 cm: Estrutura em forma de apêndice, formada por areia quartzosa, clara, média a fina, moderadamente selecionada na parte externa, e areia grossa, marrom, mal selecionada, com grânulos de quartzo, preenchendo o interior da estrutura. Possivelmente tubo de *Ophiomorpha* preenchido por areia grossa, marrom.

200-230 cm: Estrutura em forma de apêndice, formada por areia quartzosa, clara, média a fina, moderadamente selecionada. As paredes da estrutura são compostas por areia marrom escura. Bioturbação, tubo de *Ophiomorpha* preenchido por areia fina areia quartzosa fina, bem selecionada, aproximadamente 5% de minerais máficos. As paredes mais escuras compostas por areia fina e argila e finos. Esses tubos são atribuídos a *Callichirus major*.

230-257 cm: Areia quartzosa, fina, moderadamente selecionada, com aproximadamente 10% de minerais pesados, concentrados em planos preferenciais, formando incipientes fácies com estratificações cruzadas tabulares (Sp) e/ou de baixo ângulo (Sli). Contato gradacional entre (Sm) e (Sli).

258-259 cm: *Drape* com 2,5 cm de comprimento e 1mm de espessura, marrom escuro. Areias quartzosas, fina, moderadamente selecionada, com aproximadamente 5% de minerais pesados. Concentrados em planos preferenciais, os minerais pesados formam as laminações da fácies com estratificação cruzada tabular (Sp).

I.IV Fotografia do testemunho de sondagem S5 (Souza 2005)

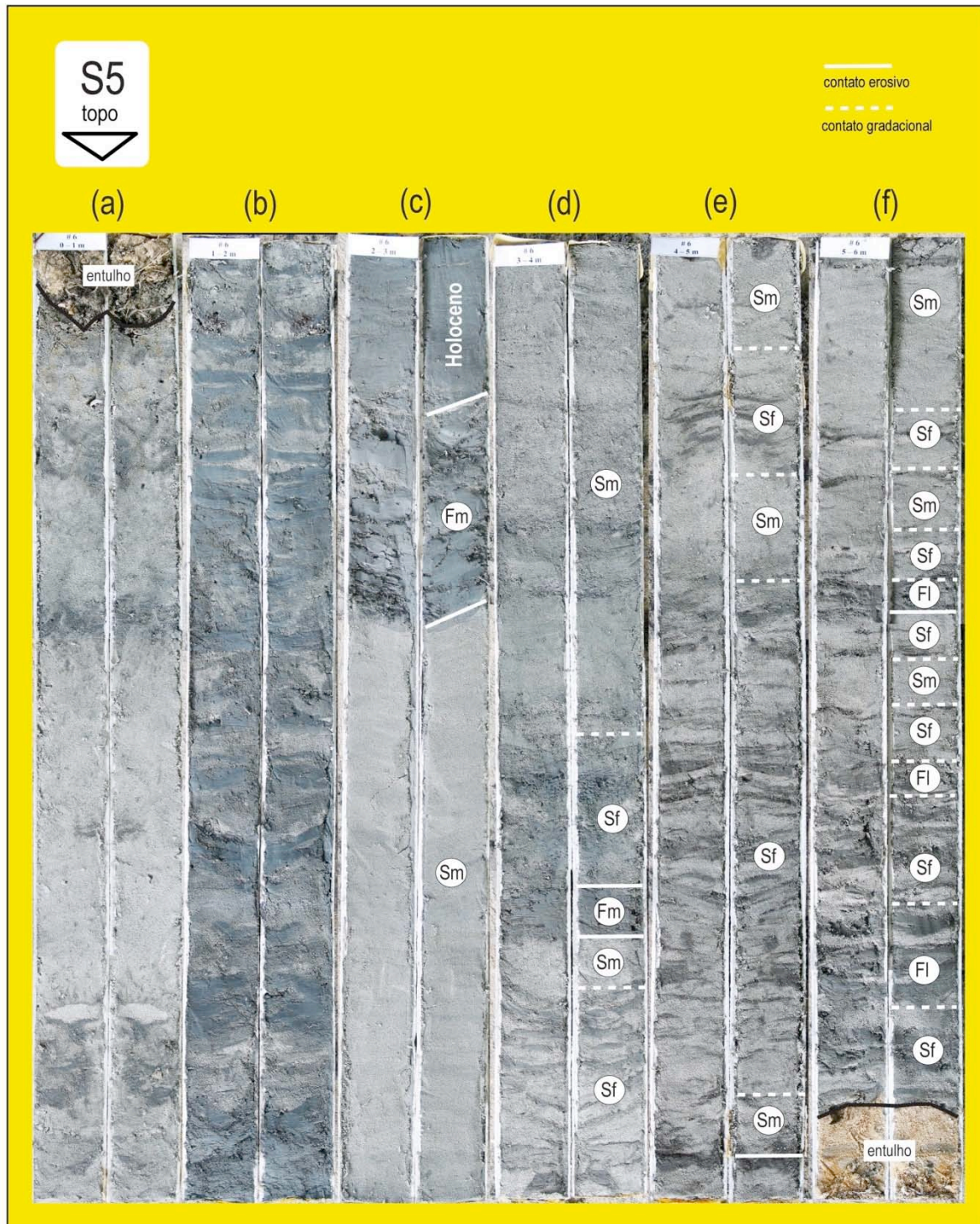


Figura 50: Testemunhos de sondagem S5 (Souza 2005). A altura do segmento do cano de alumínio corresponde a 1m.

I.V Fotografia dos testemunhos de sondagens 11, 12 (Lessa 2000)

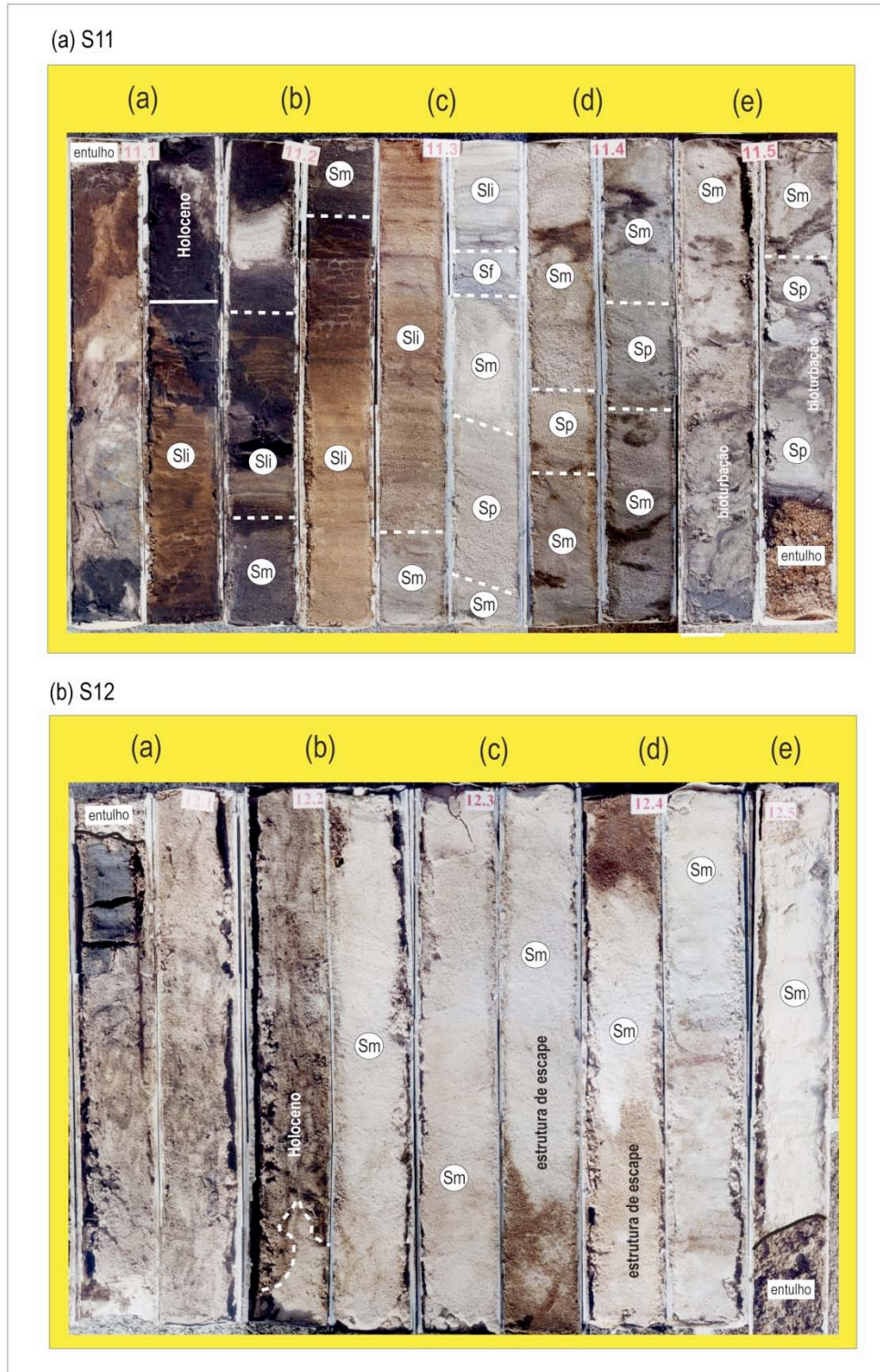


Figura 51: (a) sondagem 11, (b) sondagem 12, (Lessa 2000). A altura do segmento do cano de alumínio corresponde a 50 cm.

Anexo II - Datação ¹⁴C

II.I Datação ^{14}C de amostra de madeira



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

CAMPUS "LUIZ DE QUEIROZ"
Centro de Energia Nuclear na Agricultura



047/08

Datação ^{14}C

Piracicaba, 11 de julho de 2008

Solicitante: *Rodolfo J. Ângulo/José Carlos Branco*

O resultado está corrigido para o fracionamento isotópico natural (-25‰) e apresentado em idade convencional não calibrada em anos antes do presente (AP). O erro é de $\pm 1\sigma$ (68,3% de probabilidade).

Identificação da Amostra	Número de Laboratório	Idade (anos AP)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Tronco de árvore Amostra # 01	CEN-1070	>40.000	-27,1

Este resultado sendo usado em publicações, apreciaria receber cópias das mesmas.
Atenciosamente,



Prof. Dr. L.C.R. Pessenda
Resp. Laboratório ^{14}C
CENA/USP