

### 1.1.1.1. Diagnóstico da Comunidade Fitoplanctônica da Enseada de Balneário Camboriú e Área Estuarina Adjacente

#### 1.1.1.1.1. Introdução

O fitoplâncton têm sido extensivamente usado como indicador de qualidade da água e de mudanças ecológicas (DOMINGUES & GALVÃO, 2008). Devido a suas peculiaridades nutricionais, com absorção direta a partir do meio líquido, e sua posição de base das cadeias tróficas aquáticas, indicadores microalgais apresentam várias vantagens na avaliação de ecossistemas quando comparados com os indicadores de maior tamanho e complexidade fisiológica (LIVINGSTONE, 2001). Microalgas respondem rápido e de forma predizível a uma ampla gama de poluentes, provendo sinais de alerta facilmente detectáveis sobre a deterioração ambiental e suas possíveis causas (McCORMICK & CAIRNS JR, 1994). Alguns autores ainda afirmam que as microalgas são mais efetivas economicamente em estudos de avaliação ambiental, apesar de as análises microscópicas serem em geral demoradas e, conseqüentemente, caras (McCORMICK & CAIRNS JR., 1994; DOMINGUES & GALVÃO, 2008).

O processo de bioindicação com microalgas apresenta grande versatilidade, envolvendo tanto avaliações ao nível de estrutura ecológica das assembleias como ao nível da presença e/ou proliferação de espécies indicadoras. Águas limpas sustentam assembleias mais diversas de algas, enquanto águas poluídas tendem a ter o número de espécies reduzido e a aumentar a dominância de algumas espécies resistentes. Algumas microalgas oportunistas (*r* estrategistas) florescem em condições ricas em nutrientes, sendo identificadas como indicadoras de eutrofização. Outras proliferam na presença de tóxicos, caracterizando tolerância à poluição.

O Município de Balneário Camboriú é um dos principais polos turísticos litorâneos do Brasil. Tem apresentado uma das maiores taxas de crescimento econômico e populacional do país, e como consequência, uma série de impactos vem alterando a qualidade ecológica e sanitária dos ambientes aquáticos locais, em especial o rio Camboriú e seu estuário e a enseada adjacente (enseada de Balneário Camboriú).

Entre os forçantes desses impactos podem ser destacados: o crescimento da população residente, os picos populacionais em temporada de verão, o adensamento populacional provocado pela elevada taxa de ocupação e verticalização da construção civil, a impermeabilização intensa da área urbana, a ineficiência e/ou inadequação do sistema de

tratamento de esgotos, a inexistência de sistemas de tratamento de esgotos em cidades à montante do estuário do rio Camboriú, e a presença de extensas áreas agrícolas (rizicultura) ao longo da bacia hidrográfica do rio Camboriú, e ainda, algumas as obras costeiras junto à desembocadura deste rio, como as dragagens do canal de navegação do estuário e consequente aterro da porção sul da praia.

Esse panorama complexo tem certamente influência sobre eventos de desequilíbrio ecológico de grande amplitude que vem sendo verificados e/ou se tornado mais intensos nos últimos 10 anos.

A avaliação do fitoplâncton para a caracterização ecológica e para obtenção de um "background" sobre o estado ecológico e sanitário atual da área certamente constituirá uma ferramenta poderosa. No presente estudo o fitoplâncton foi analisado em uma condição de maré de sizígia, para detectar os processos ocorrentes em condições extremas de maré, com amostragens detalhadas tanto horizontalmente como verticalmente, na enseada proximal e mais externa e na área estuarina do rio Camboriú e no canal do rio Marambaia.

#### 1.1.1.1.2. Metodologia

##### 1.1.1.1.2.1. Definição da Malha Amostral

Para a definição do plano de amostragem, foi definida a distribuição dos pontos de coleta (malha amostral) ao longo da área a ser estudada. Este plano amostral prevê 26 pontos amostrais cujas coordenadas encontram-se detalhadas na Tabela 1, e cuja localização pode ser observada na Figura 1.

Tabela 1. Localização geográfica dos pontos amostrais para a comunidade planctônica.

Estação Amostral	Localização (UTM) Datum Horizontal WGS 84	
	X	Y
#01	731936,238	7009036,817
#02	733562,9393	7010149,206
#03	735255,5053	7009853,723
#04	736087,8047	7010656,907
#05	736942,2238	7010415,353
#06	737786,1763	7011086,567
#07	737835,3698	7012174,948

Estação Amostral	Localização (UTM) Datum Horizontal WGS 84	
	X	Y
#08	736636,1897	7013184,838
#09	737209,9943	7011014,888
#10	736120,1967	7011786,423
#11	735418,5898	7012749,524
#12	735110,658	7013582,824
#13	735061,6581	7014266,46
#14	734975,4188	7014510,243
#15	750545,1208	7013330,728
#16	750100,6199	7011470,174
#17	752145,324	7012498,877
#18	750970,5716	7012595,714

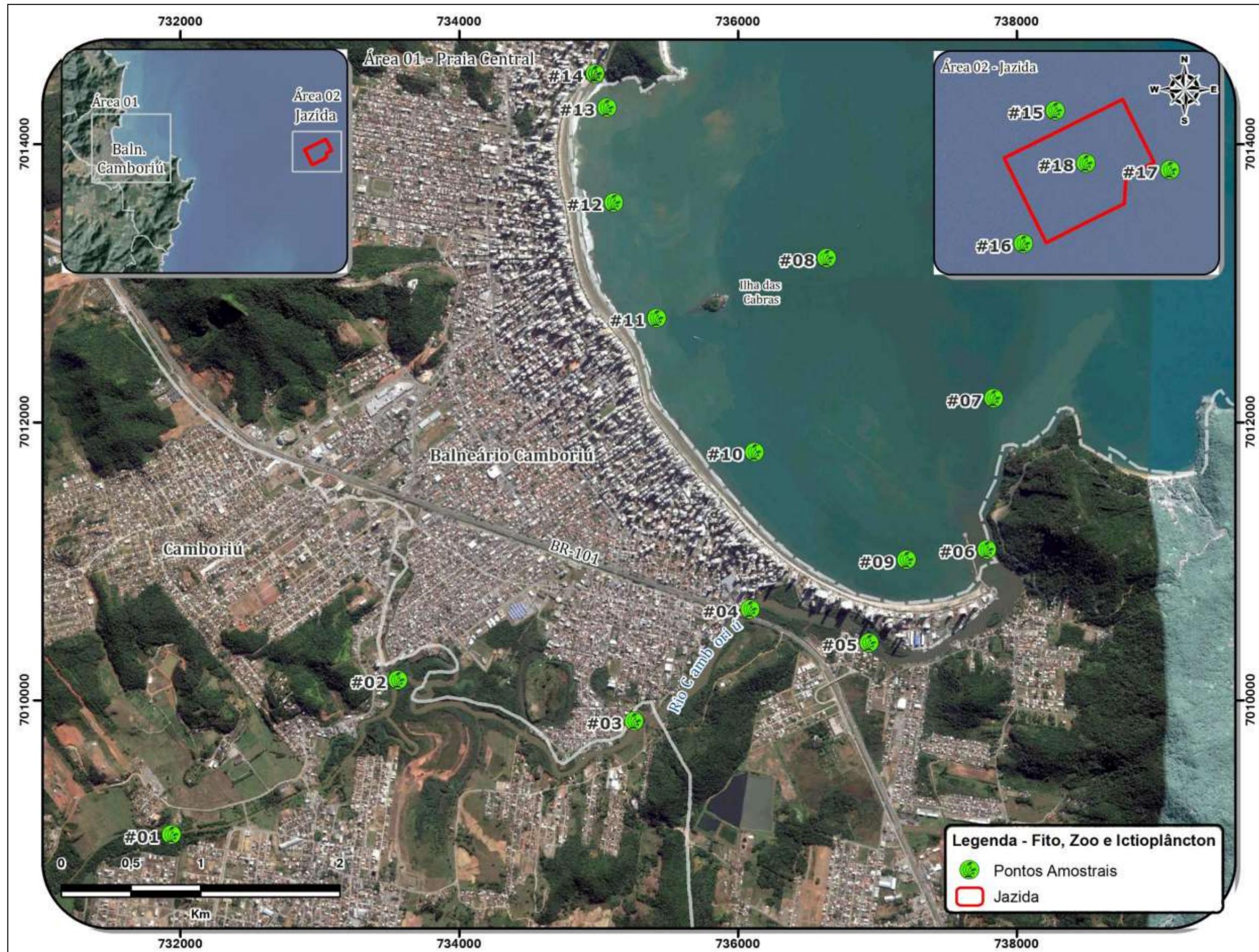


Figura 1. Localização dos pontos amostrais da comunidade fitoplânctônica.

#### 1.1.1.1.2.2. Amostragem para Pigmentos Fotossintéticos e Fitoplâncton

As amostras de água para análise quali e quantitativa do fitoplâncton e para pigmentos fotossintéticos (clorofila-a e feopigmentos) foram coletadas com garrafa de Nansen de 2 litros, em sub-superfície (S), meia água (M) e fundo (F) nas estações da enseada e em sub-superfície e fundo em maré enchente e vazante para as estações do estuário. Uma vez coletadas, alíquotas homogêneas de 500 ml das amostras foram acondicionadas em frascos de vidro âmbar e fixadas com lugol a 2%. Paralelamente, em cada ponto, foram realizados arrastos verticais com rede de plâncton de malha 30 µm, desde alguns centímetros acima do fundo até a superfície. Estas amostras, de caráter apenas qualitativo, foram fixadas com formol a 2% e tiveram a finalidade de auxiliar na identificação de espécies pouco frequentes.

#### 1.1.1.1.2.3. Concentração de Clorofila-a e Feopigmentos (Pigmentos Fotossintéticos)

Para a análise de clorofila-a, alíquotas de volume conhecido das amostras foram filtradas em filtro de fibra de vidro GF/C com 25 mm de diâmetro, sendo os filtros extraídos com 10 mL de acetona 90% (v/v) por 24 horas no escuro dentro de refrigerador (0°C - 4°C) (PARSONS *et al.*, 1989). As amostras assim extraídas foram lidas em cubeta cilíndrica de 1 cm de caminho óptico e 5 ml de volume, em fluorímetro Turner Designs Trilogy, munido de sistema de filtros para clorofila-a com acidificação para determinação posterior de feopigmentos. Para a calibração do fluorímetro utilizou-se um cultivo da microalga *Skeletonema costatum* em crescimento exponencial. Um volume conhecido desse cultivo foi filtrado, passando pelo mesmo processo de extração e leitura das amostras, porém também foi realizada a determinação espectrofotométrica de clorofila-a do mesmo para a posterior conversão dos valores de fluorescência (conforme PARSONS *et al.*, 1989). O fluorímetro dispõe de rotina interna para salvar os dados de calibração resultando em leituras diretas de clorofila-a e feopigmentos em µg.L<sup>-1</sup>. Para feopigmentos, a amostra de extrato foi acidificada com 2 gotas de HCl 10% (v/v) agitada e lida novamente no fluorímetro.

#### 1.1.1.1.2.4. Análise Qualitativa e Quantitativa do Fitoplâncton

Em laboratório, cada amostra quantitativa de fitoplâncton foi homogênea e retiraram-se alíquotas de 100 ml para sedimentação em câmaras de Utermöhl. Após 24 horas de sedimentação as câmaras foram observadas em microscópio invertido sendo os organismos, identificados até o menor táxon possível e quantificados com as devidas

---

correções de volume para densidade de células em valores de *células por litro* (cél./L). Organismos cuja identificação não foi possível até espécie, foram diferenciados ao nível de gênero, família, ordem ou classe, com codificações para diferenciação e anotações de dimensões.

Para fins de caracterização ecológica das assembleias fitoplanctônicas, bem como para permitir comparações futuras, foram determinados o Índice de Diversidade de Shannon ( $H'$ , equação 1), o Índice de Equitatividade de Pielou ( $E_v$ , equação 2).

Equação 1

$$H' = - \sum_{i=1}^S [(n_i/N) \ln(n_i/N)]$$

onde,

$n_i$  = valor de importância de cada espécie

$N$  = total de valores de importância

Equação 2

$$E_v = H' / \ln(S)$$

onde,

$H'$  = Índice de Diversidade de Shannon

$S$  = número total de espécies

#### 1.1.1.1.3. Resultados e Discussão

##### 1.1.1.1.3.1. Distribuição da Concentração de Clorofila-a

Ao total foram realizadas, entre estuário dos rios Camboriú e Marambaia e as diversas áreas da enseada de Balneário Camboriú, 61 análises de clorofila-a e 61 análises de feopigmentos totais. Os dados brutos de clorofila-a e feopigmentos estão apresentados no Anexo.

---

A apresentação dos resultados foi dividida entre dados referentes ao estuário do rio Camboriú e canal do rio Marambaia (estações #01 a #06 e #14) e dados referentes à enseada de Balneário Camboriú (estações #07 a #18). Tal separação se faz necessária tanto pela diferença em estratégia amostral, que foi em dois extremos de maré e duas profundidades nas áreas estuarinas e em uma única condição com três profundidades nas áreas da enseada, como também devido a amplitude diferente de valores entre essas áreas.

Os maiores valores de clorofila-a foram verificados na zona estuarina do rio Camboriú (média = 2,33 µg/L; mínimo = 0,09 µg/L; máximo = 10,66 µg/L), o que está relacionado a condição eutrófica dessa área, decorrente das excessivas fontes poluidoras veiculadas ao rio e ao estuário. Valores intermediários de clorofila-a foram verificados nas estações proximais (mais próximas a praia) da enseada (média = 0,20 µg/L; mínimo = 0,07 µg/L; máximo = 0,51 µg/L). Os menores valores foram verificados nas estações da região da jazida de areia (média = 0,03 µg/L; mínimo = 0,01 µg/L; máximo = 0,07 µg/L), representando uma condição de significativa diluição dos nutrientes encontrados no estuário e na enseada.

A Figura 2 apresenta os dados de clorofila-a para a região estuarina do rio Camboriú sendo a Figura 2A na maré enchente e a Figura 2B na maré vazante. Na maré enchente verificaram-se os picos de clorofila-a nas estações #1 e #2, especialmente junto ao fundo. Os valores reduziram em direção à embocadura, evidenciado um processo de diluição pela maior influência marinha. Na maré vazante os picos também foram verificados nas estações #01 e #02, porém, alastrados também para a estação #03, evidenciando o transporte da biomassa para jusante. Também pôde ser visto na vazante que, para as estações #02 e #03 o máximo de clorofila passou a ser em superfície e não ao fundo como na maré enchente, o que mostra um processo de turbulência considerável governado pela maré, onde o fitoplâncton concentrou-se ao fundo na enchente e em superfície na vazante. Outra possível explicação relaciona-se a fotoadaptação do fitoplâncton, onde o fitoplâncton mais superficial tende a apresentar menor concentração celular de clorofila-a devido a maior irradiância e o fitoplâncton de fundo, mais limitado em irradiância, tende a sintetizar mais clorofila-a por célula. Essa condição deve ser comparada com as densidades de células do fitoplâncton para ser confirmada e chama a atenção para a interpretação cuidadosa dos dados de clorofila-a, pois nem sempre o valor de clorofila-a pode ser usado diretamente como indicador seguro de biomassa, haja vista essa fotoadaptação. Esse tema será também discutido mais adiante no item sobre as densidades do fitoplâncton.

---

Essa marcada estratificação nas estações #01, #02, #03 mostram o efeito da maré nessa extremidade, a qual gera, na mudança de maré, mistura e retenção de biomassa. É a partir da estação #05 que se percebe influência da diluição marinha no estuário. Esses padrões serão melhor explicados ao verificar-se a composição de espécies do fitoplâncton dessas áreas a montante.

É importante frisar que valores de clorofila-a maiores que 2 µg/L podem ser considerados elevados e valores maiores que 6 µg/L caracterizam floração e indício de eutrofização, dependendo do local e da diretiva considerados.

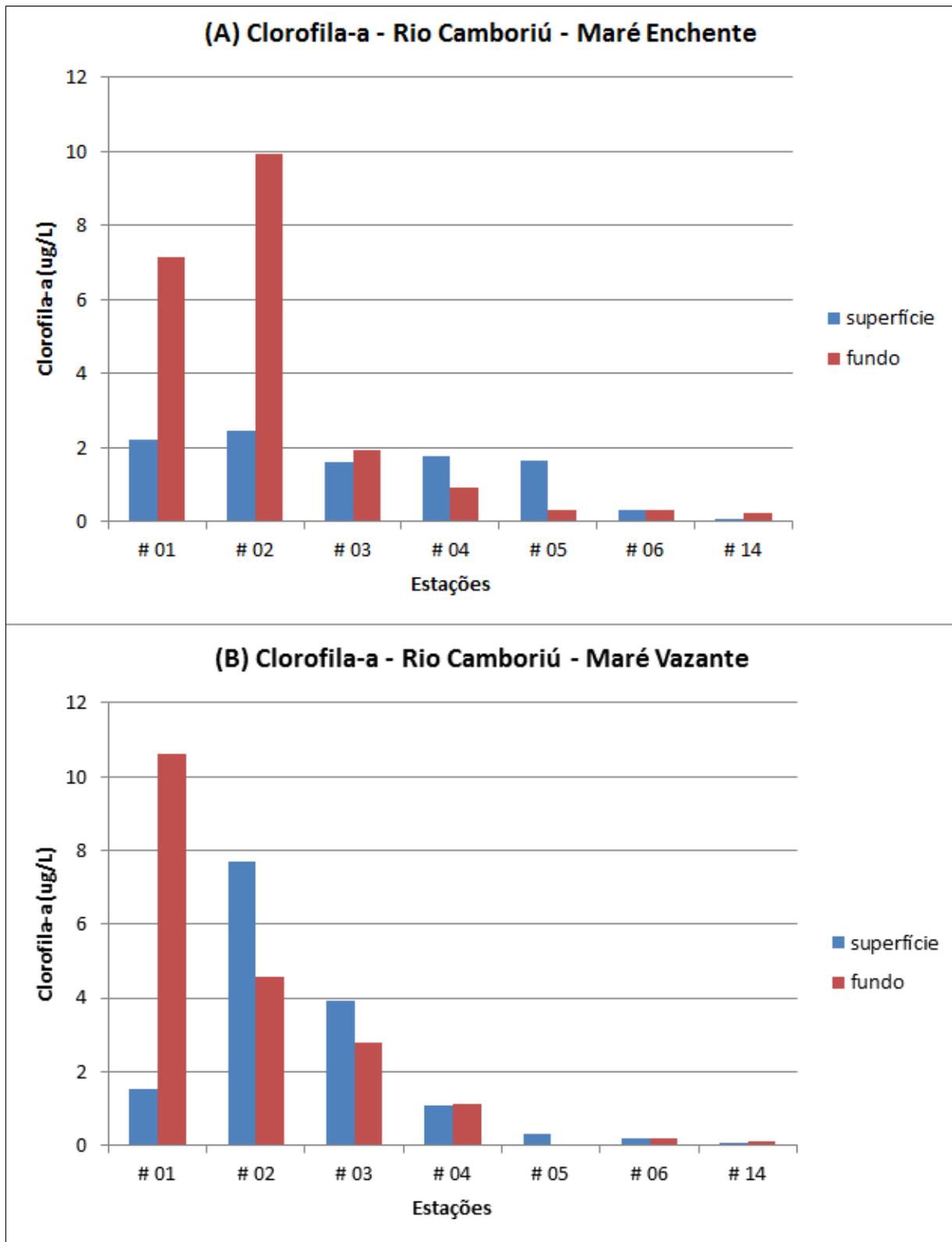


Figura 2. Distribuição da concentração de clorofila-a nas estações do estuário do rio Camboriú (#01 a #06) e embocadura do canal do rio Marambaia (#14) em março de 2013. (A) Amostras coletadas na maré enchente e (B) amostras coletadas na maré vazante.

---

Os feopigmentos são pigmentos relacionados à degradação de clorofila-a. Essa degradação está relacionada a intensidade de pastagem pelo zooplâncon ou a mortalidade do fitoplâncton por outros processos (estresse salino, poluição, excesso de luz, doenças virais etc.). Quanto maior a concentração de feopigmentos, maiores devem ser a intensidade de pastagem ou degradação do fitoplâncton por outros processos. A importância de feopigmentos pode ser apresentada como um percentual sobre a clorofila-a, já que no processo analítico instrumental, parte da clorofila-a lida é representada por feopigmentos. Assim, os feopigmentos aqui, para fins ilustrativos, são apresentados como percentual sobre o total de clorofila-a.

A Figura 3 apresenta os percentuais de feopigmentos sobre a clorofila-a para as amostras/estações da região estuarina do rio Camboriú e do canal do rio Marambaia, sendo a Figura 3A para a situação de enchente e a Figura 3B para a situação de vazante.

Em relação ao estuário do rio Camboriú, somente nas estações #05 fundo e #06 superfície da amostragem de maré enchente houve valor significativo de feopigmentos, representando, respectivamente, 3% e 7%, que são considerados valores relativamente baixos. Nas demais estações a clorofila-a não teve valor de feopigmentos significativo. Entretanto, nas amostras do canal do Marambaia os valores de percentual de feopigmentos ultrapassaram os 30% para superfície e fundo na maré enchente e os 20% para superfície na maré vazante. Esses resultados representam maior estresse do fitoplâncton nessa área, o que pode estar relacionado à poluição ou variação mais brusca de salinidade pelas menores dimensões do canal em relação ao rio Camboriú.

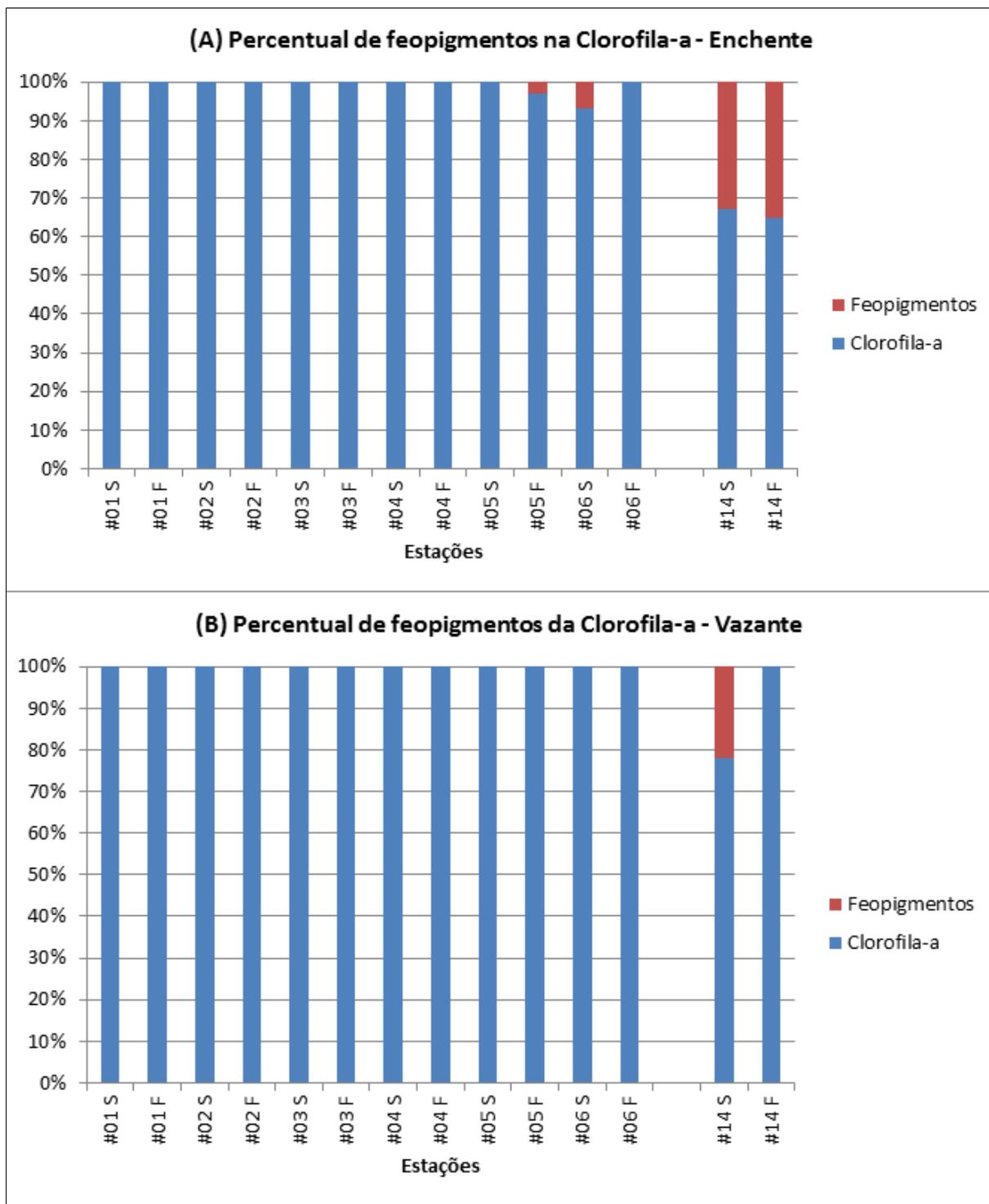


Figura 3. Representação do percentual de feopigmentos sobre a concentração de clorofila-a para as estações do estuário do rio Camboriú (#01 a #06) e canal do Marambaia (#14). Convenções: S = superfície; F = fundo.

Em relação às estações da enseada de Balneário Camboriú (#07 a #18, inclusive #14), observaram-se valores mais elevados de clorofila-a nas estações próximas ao canal do Marambaia (#12, #13 e #14) e em seguida nas estações mais próximas ao rio Camboriú (#07 e #08); e valores menores nas estações próximas à área da jazida (#15 a #18). A

---

Figura 4 apresenta as concentrações de clorofila-a para estas estações da enseada, estratificadas em superfície, meio e fundo.

Somente na estação #08 e nas estações mais externas, da área da jazida, os valores de clorofila-a foram maiores em superfície. Nas demais, os picos foram registrados ou no meio da coluna de água ou junto ao fundo. Essas situações mostram o grau de heterogeneidade da distribuição do fitoplâncton na enseada, onde processos locais de microescala pode determinar acúmulos ou dispersão de biomassa. Tal heterogeneidade é típica de locais com biomassa elevada de fitoplâncton, resultante de aportes nutricionais costeiros.

A condição de maré de sizígia foi útil para verificar os contrastes de valores de clorofila-a. Nessa época as águas costeiras e de plataforma estão com baixos valores de clorofila-a, como pode ser, de certa forma, visto nas estações #15 a #18, que são mais externas e distantes de efeitos da urbanização de Balneário Camboriú. Os valores mais elevados junto à praia mostram a influência de aporte continental (canal do rio Marambaia, rio Camboriú, fluxo de aquíferos) de nutrientes, gerando incrementos consideráveis mesmo com todo o poder de diluição da enseada. Percebe-se que o potencial de incremento da clorofila-a pela proximidade à praia chega a cinco vezes em alguns pontos, quando comparados aos valores das águas adjacentes costeiras.

O fitoplâncton mais próximo à praia parece responder mais aos nutrientes, ao passo que o fitoplâncton de áreas mais distantes (área da jazida) parece responder mais a luz. Há uma indicação de possibilidade de processo eutrofizante na enseada em função dessa diferença entre as estações proximais e as da área da jazida. Esses dados estão com ótimo contraste e servirão muito bem como "*background*" comparativo para o caso de haver efetiva lavra da jazida, onde pode-se esperar consequências sobre o fitoplâncton pela ressuspensão de nutrientes.

É importante destacar que os valores de clorofila-a encontrados na enseada foram de uma a duas ordens de grandeza menores que os encontrados no estuário do rio Camboriú. Ainda assim, a alta sensibilidade dos dados obtidos por fluorometria pôde mostrar diferenças importantes entre estações e entre estratos de profundidade.

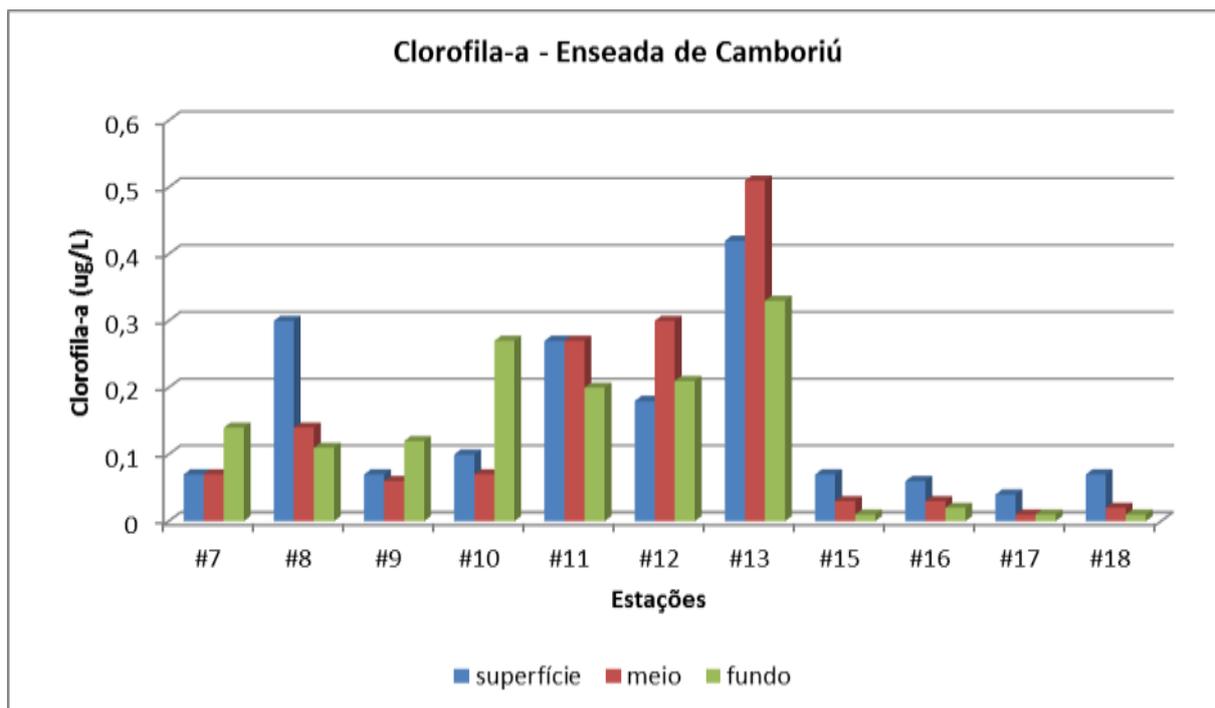


Figura 4. Distribuição da concentração de clorofila-a nas estações da enseada de Balneário Camboriú, estratificadas em superfície, meio e fundo.

Em relação o percentual de feopigmentos sobre a clorofila-a, as condições na enseada foram um pouco diferentes quando comparadas ao estuário do rio Camboriú. Os feopigmentos foram em geral mais importantes, sendo que nas estações proximais da enseada ocorreu maior importância de feopigmentos nas amostras de meio e fundo e nas estações mais distais, da área da jazida, os feopigmentos foram mais importantes em superfície (Figura 5). Esta situação destaca a diferença das características físico-químicas e biológicas entre essas áreas. Nas estações proximais, a maior turbidez da água parece neutralizar possíveis efeitos de fotoinibição por excesso de luz em superfície, o que não ocorre em águas mais transparentes da área da jazida. Por outro lado, nessas estações, a relativa limitação por luz e a ocorrência de outros fatores limitantes ligados aos aportes continentais (escoamento pela praia e percolação por aquíferos) condiciona condições mais estressantes para o fitoplâncton junto ao fundo. Já na estações mais distais, a menor influência de aportes continentais e a maior transparência da água pode estar limitando o fitoplâncton por fotoinibição em superfície. A menor influência de poluentes e de águas continentais nessas áreas também pode estar favorecendo o zooplâncton em superfície, que efetua uma pastagem mais eficiente em superfície, coincidindo com os maiores níveis de clorofila-a. A situação complementar representada pela ausência virtual de feopigmentos em meio e fundo nas estações da área da jazida indica uma menor interação trófica nesses estratos ou um menor efeito de fotoinibição. A condição extrema da estação #08 fundo, onde toda a clorofila-a esteve relacionada a feopigmentos (100% da clorofila-a foi relacionada a feopigmentos) deve estar relacionada à ressuspensão de

sedimentos no momento da coleta, condição comum na tentativa de obtenção de amostras de fundo de coluna de água em zonas rasas. Nesse caso, os sedimentos de fundo, ricos em produtos de degradação da clorofila-a oriunda da sedimentação de fitoplâncton morto, devem ter influenciado na análise, rendendo elevado valor relativo de feopigmentos.

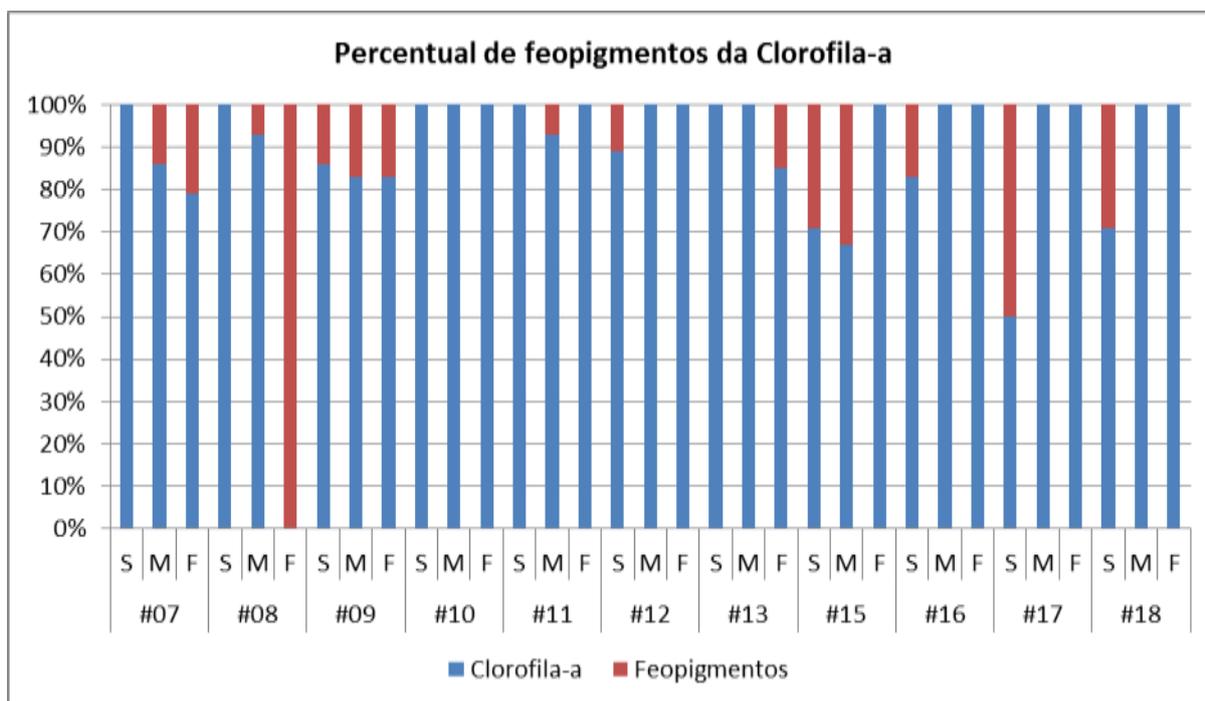


Figura 5. Representação do percentual de feopigmentos sobre a concentração de clorofila-a para as estações da enseada de Balneário Camboriú (#07 a #18, exclusive estação #14). Convenções: S= superfície; M= meia coluna de água; F= fundo.

Comparando os valores de clorofila-a aqui obtidos com os obtidos em um levantamento similar a esse, realizado pela PROSUL em maio de 2007, verificam-se valores bem menores. A média de clorofila-a na enseada proximal no presente estudo foi de 0,2 ug/L, enquanto que no estudo anterior da PROSUL obteve-se uma média de 9,3 O ug/L. Essa diferença pode estar relacionada a época do ano em que foram feitas as amostragens: verão no presente estudo e final de outono no estudo anterior. No final de outono são comuns valores maiores de clorofila-a, especialmente em situações após frentes frias, que ressuspendem microalgas epibênticas na costa catarinense. Para reforçar essa hipótese, a principal microalga presente naquele estudo foi *Asterionellopsis glacialis*, que forma densas acumulações nas praias e áreas adjacentes dessa região (RÖRIG *et al.*, 1997). Essa alga esteve presente nas amostras de 2013 (este estudo), porém, sempre em baixas densidades. Elas tendem a ser mais abundantes entre o final de outono e final de primavera, e suas altas densidades aparecem como uma interferência súbita na estrutura e sucessão do fitoplâncton nerítico (RÖRIG *et al.*, 1997). Por outro lado, os

---

valores de clorofila-a encontrados no presente estudo para a área estuarina são similares aos encontrados nos picos de clorofila-a da enseada em maio de 2007. Porém, Pereira Filho *et al.* (2001), em amostragens intensivas em ponto fixo ao longo de um ciclo de maré no estuário do rio Camboriú (março de 1998), encontraram valores maiores de clorofila-a (média = 10,4 µg/L; mínimo = 5,1 µg/L; máximo = 22,8 µg/L). No estudo acima citado foi descrita a presença de um cinturão de clorofila-a que migra entre o estuário e a região adjacente à embocadura. Essa parece ser uma feição peculiar do estuário do rio Camboriú, pois também foi verificada nas presentes amostragens. Assim, seja na enseada ou na área estuarina, elevados valores de clorofila-a tem sido comuns na região da enseada de Camboriú, refletindo os aportes de nutrientes pelo rio Camboriú e por outras fontes.

#### 1.1.1.1.3.2. Distribuição e Estrutura Ecológica do Fitoplâncton

A análise do fitoplâncton foi realizada num alto nível de detalhamento. Trata-se do processo amostral e analítico mais intenso e detalhado já realizado na área em mais de 20 anos de estudos locais. Ao todo foram discriminados 93 táxons, incluindo organismos heterotróficos como protozoários ciliados. Destes, 43 foram identificados em nível de espécie, com 2 por conferir; 26 em nível de gênero; 12 em nível de ordem e 12 em níveis taxonômicos superiores. Os dados brutos de contagem de fitoplâncton estão apresentados no Anexo.

A Figura 6 apresenta de forma comparativa as densidades totais de células do fitoplâncton, estratificadas e separadas entre amostras do estuário do rio Camboriú e estuário do canal do Marambaia e amostras da enseada. Os gráficos foram construídos mantendo-se a mesma escala de valores para facilitar a observação comparativa. Percebe nitidamente as elevadas densidades de fitoplâncton encontradas na área do estuário do rio Camboriú, especialmente nas estações mais a montante (#01, #02 e #03), tanto na maré enchente como na maré vazante. As densidades encontradas nessas amostras podem ser consideradas elevadas, indicando um efeito eutrofizante na área, relacionado às intensas fontes poluidoras ali atuantes. As amostras proximais da enseada (mais próximas à praia) mostraram densidades intermediárias de células, ainda mostrando uma influência considerável de aportes continentais e poluição. Nas amostras da área da jazida as densidades de células foram pelo menos uma ordem de grandeza menor que as verificadas na região estuarina. Estas densidades, apesar de menores, ainda são maiores do que se esperaria para áreas costeiras em condição de verão, mas já indicam uma condição de dispersão maior de nutrientes e também a evidência de

---

zonas com comportamento ecológico diferenciado, onde os nutrientes são mais intensamente consumidos pelo fitoplâncton nas áreas mais internas da enseada.

De maneira geral, na área estuarina do rio Camboriú as densidades de células foram maiores em superfície na maré enchente, com um aumento da importância relativa das densidades em fundo na maré vazante (Figura 6A e Figura 6B). Essa situação indica a ocorrência de processos de retenção do fitoplâncton na região mais a montante do estuário, formando um cinturão de biomassa que se dispersa apenas parcialmente na maré vazante. Provavelmente os processos turbulentos relacionados à penetração da cunha salina e elevação do nível de água na maré enchente causam advecção vertical de fitoplâncton nessa área. Como comentado no item sobre a concentração de clorofila-a, fica nítido aqui a ocorrência de processos de fotoadaptação no fitoplâncton, pois em geral, as maiores concentrações de clorofila-a foram encontradas ao fundo (Figura 2), onde as densidades de células foram em geral menores. A ocorrência desse processo de fotoadaptação sugere também que o fitoplâncton das áreas mais a montante do estuário sofre considerável retenção, ao ponto de haver tempo para as populações passarem por fotoadaptação. Ainda deve ser considerado que a turbidez das águas estuarinas é o principal agente influente da fotoadaptação, pois atua reduzindo amplamente a penetração de luz para a fotossíntese fitoplanctônica. É bem conhecida, inclusive em nível regional, a alternância de fatores limitantes do fitoplâncton na transição entre estuários e zonas costeiras, onde naqueles o fitoplâncton é limitado por luz, mas tem grande disponibilidade de nutrientes, e nestas a limitação é por nutrientes, pois o material em suspensão sofre sedimentação e os nutrientes sofrem diluição. Entre essas duas condições, normalmente, encontram-se os máximos de biomassa fitoplanctônica, sendo que tal área varia de posição em função de maré astronômica, maré meteorológica e vazão do rio (RÖRIG *et al.*, 2003). No caso dos resultados aqui obtidos, os máximos de clorofila-a e densidade de células do fitoplâncton se situaram no interior do estuário, indicado uma prevalência do efeito da maré e uma baixa vazão do rio.

Na região proximal da enseada as densidades de fitoplâncton foram em geral maiores na superfície e meia água do que ao fundo, o que em geral foi também verificado para a clorofila-a. Essa condição indica menor incidência de fotoadaptação do fitoplâncton, o que faz sentido a devido à maior transparência das águas da enseada. Entretanto, quando comparadas às estações da área da jazida, percebe-se que há um considerável estoque de células junto ao fundo nas estações proximais, em contraste com uma quase ausência de estoques junto ao fundo nas estações da jazida.

---

A densidade média de células por litro no presente estudo ao longo da enseada foi de 1.700.000 cél./L, enquanto que no estudo da PROSUL de 2007 foi de 2.500.000 cél./L. Essa diferença pode estar atrelada à sazonalidade, já que, como descrito para clorofila-a, na amostragem de 2007 as condições propiciaram maiores densidades de fitoplâncton do que na amostragem atual. Para verificar se, efetivamente, o fitoplâncton está diminuindo em biomassa ao longo do tempo seriam necessárias amostragens mais intensivas, mensais ou bimensais, pelo menos para clorofila-a. Na região estuarina essa intensidade deveria ser maior e cobrindo ciclos de maré, como feito nesse estudo.

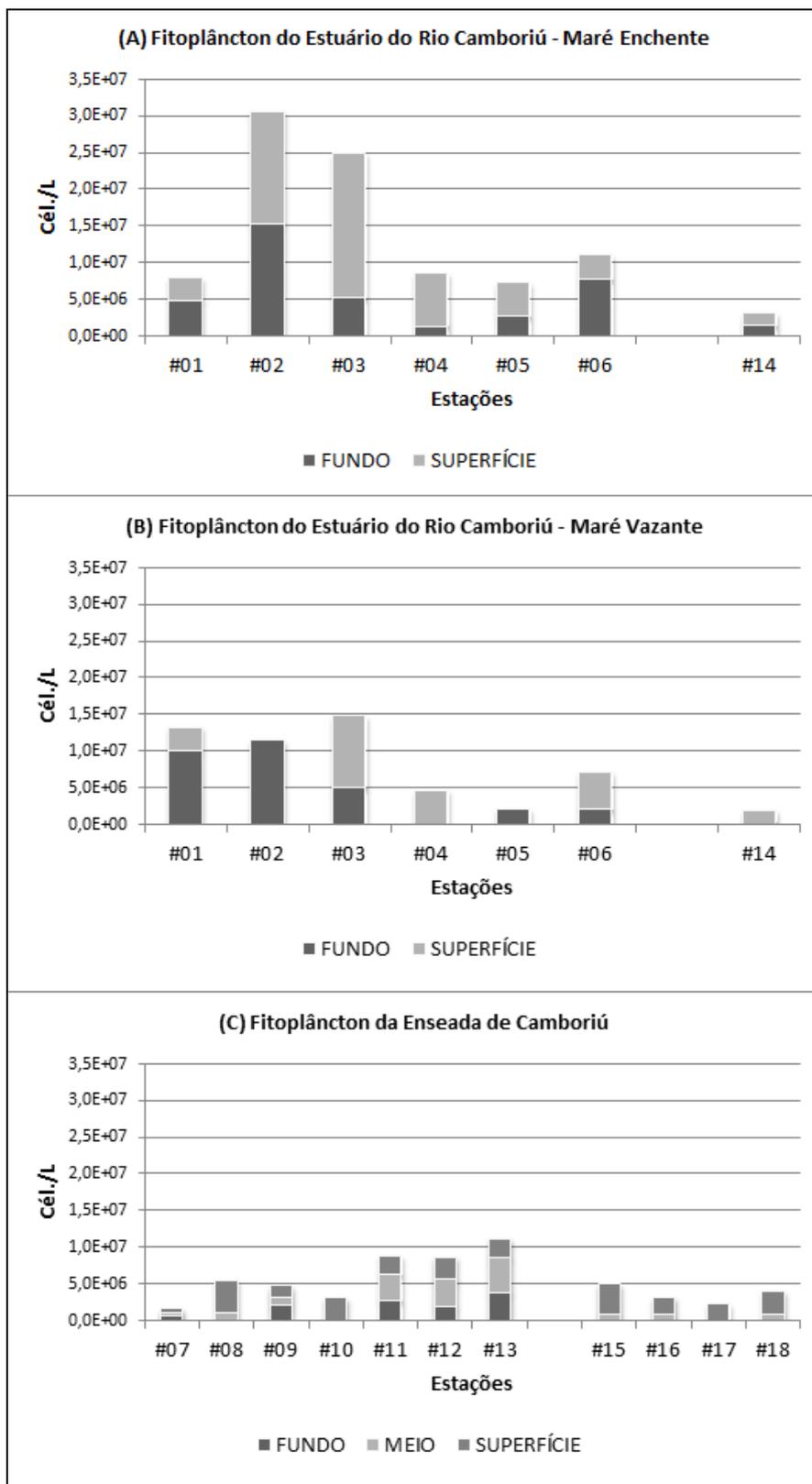


Figura 6. Densidades totais de fitoplâncton em células por litro (incluindo organismos heterotróficos) no estuário do rio Camboriú e enseada de Balneário Camboriú, SC, em março de 2013. Estações de #01 a #06 são da área estuarina do rio Camboriú; estação #14 da área estuarina do canal Marambaia; estações de #07 a #13 são da área proximal da enseada e estações de #15 a #18 são da área da jazida.

---

Em relação à composição taxonômica do fitoplâncton, destaca-se o amplo predomínio de diatomáceas (Bacillariophyceae) em todas as áreas, mas uma importância muito grande de microalgas flageladas nanoplanctônicas, identificadas como Prymnesiophyceae, nas estações mais ricas do estuário do rio Camboriú. Diatomáceas são microalgas típicas de águas costeiras e predominam em condições de abundância de nutrientes, que neste caso é representada pelos fortes aportes antropogênicos existentes na área da enseada de Balneário Camboriú.

Uma das diatomáceas mais comuns e abundantes nesse estudo foi *Skeletonema* spp. O enquadramento em várias espécies resulta da dificuldade de identificação específica com base na microscopia óptica, sendo necessária análise em microscopia eletrônica. Até recentemente, os estudos regionais reportavam a presença de *S. costatum*, *S. tropicum* e mais raramente *S. subsalsum*, porém, o estudo de Bergesh *et al.* (2009) sugere cautela na taxonomia desse gênero no sul do Brasil justamente devido às diferenças somente conclusivas em microscopia eletrônica. O mesmo estudo conclui que o gênero *Skeletonema* é altamente diverso na região, com a ocorrência de pelo menos quatro espécies: *S. costatum*, *S. pseudocostatum*, *S. potamos* e *S. tropicum*. Essa alta diversidade é atribuída à proximidade da Convergência Subtropical a presença de vários aportes continentais significativos que favorecem a presença de espécies de água quentes, frias e mixoalinas. No presente estudo verificou-se uma grande variedade de morfotipos para *Skeletonema* spp., com variação no tamanho celular e quantidade de plastos por célula, o que indica a existência de várias espécies. Entretanto, para fins de caracterização ecológica preliminar, *Skeletonema* spp. foi considerado como um táxon único.

Um caso similar de dúvida na identificação ocorreu com o gênero *Pseudo-nitzschia*. As espécies desse gênero também só podem ser confirmadas por microscopia eletrônica. Porém, 3 espécies foram discriminadas baseadas em dimensões das valvas. Considerou-se para tanto o formato e as dimensões relativas de comprimento e largura das valvas. Embora as ocorrências assim discriminadas tenham sido agrupadas em 3 espécies não identificadas (*Pseudo-nitzschia* sp.1, *Pseudo-nitzschia* sp.2, *Pseudo-nitzschia* sp.3), é muito provável que hajam mais que três espécies no conjunto de amostras analisadas.

*Thalassiosira* sp., *Pseudo-nitzschia* sp.1, *Pseudo-nitzschia* sp.2 e *Skeletonema* spp., além de se destacarem por serem os táxons mais abundantes de diatomáceas, foram também muito frequentes no conjunto de amostras, com percentual de ocorrência igual ou maior que 70% das amostras. *Dactyliosolen fragilissimus* também merece destaque, estando

entre as 10 mais abundantes e com frequência de ocorrência em torno de 66% das amostras. Essa é uma espécie muito comum nas águas costeiras regionais conforme vários estudos e monitoramentos já realizados. Destaca-se ainda a alta frequência e relativa alta abundância de espécies do gênero *Chaetoceros*, especialmente *C. lorenzianus*, *C. cosntrictus* e *C. affinis*. *Chaetoceros* spp. são comuns nas florações primaveris da zona nerítica de Santa Catarina, persistindo através do verão em ambientes costeiros ricos em nutrientes. A espécie de zona de arrebentação *Asterionellopsis glacialis*, embora pouco abundante, também esteve presente em 71% das amostras, mostrando seu potencial de sobrevivência e crescimento na região. Os percentuais de ocorrência e os totais de densidade de células para cada táxon registrado estão apresentados de forma discriminada no Anexo. Outras observações sobre a composição taxonômica são apresentadas abaixo, nos comentários sobre as diferentes assembleias fitoplanctônicas discriminadas para cada subambiente da área de estudo.

A relação entre densidade de táxons e sua importância relativa em cada amostra pode ser visualizada através da riqueza total (nº de táxons por amostra) e dos índices de diversidade e equitabilidade (Figura 7). Esses três parâmetros se equivaleram em praticamente todas as amostras. As menores diversidades e equitabilidades ocorreram na área estuarina, coincidindo com as maiores densidades de células. A maior diversidade de táxons ocorreu na estação #14, correspondente ao canal do Marambaia, seguida pelas estações da enseada de Balneário Camboriú.

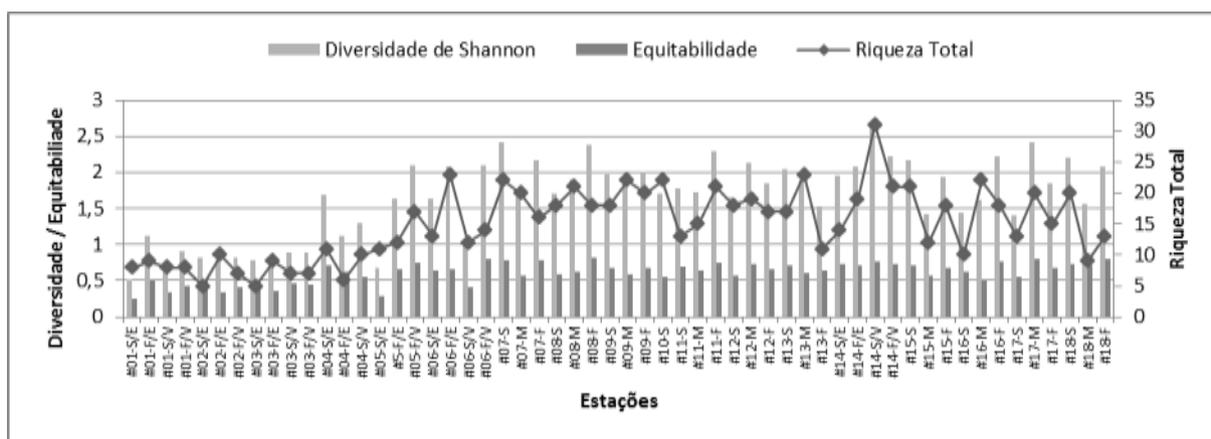


Figura 7. Índice de diversidade de Shannon, índice de equitabilidade de Pielou e riqueza total (nº de táxons diferentes) nas amostras dos estuários do rio Camboriú e canal do Marambaia e enseada de Balneário Camboriú em março de 2013. Convenções: S = superfície; M = meia coluna de água; F = fundo; E = maré enchente e V = maré vazante.

Ao analisar-se o fitoplâncton de forma integrada, considerando a densidade de células e a composição taxonômica, foi possível discriminar 3 agrupamentos ou assembleias bastante diferenciados ao longo das áreas estudadas: (A) Assembleia Estuarina com altas

---

densidades de diatomáceas e Prymnesiophyceae, representada pelas amostras do estuário do rio Camboriú (estações #01, #02, #03, #04, #05 e #06); (B) Assembleia da enseada proximal, com densidades relativamente altas de diatomáceas, representada pelas amostras da enseada mais próximas à praia (estações #07 a #14); e (C) Assembleia da área da jazida, com densidades menores de células, mas com composição similar as amostras da enseada proximal.

Em relação à Assembleia (A), destacam-se os seguintes aspectos:

- Cerca de 85% do fitoplâncton é constituído por 3 táxons: *Thalassiosira* sp. (Bacillariophyceae), nanoflageladas Prymnesiophyceae e *Skeletonema* spp. (Bacillariophyceae). São algas planctônicas, de ambiente marinho costeiro e mixoalino. A área mostra uma condição de floração, com elevada biomassa e baixa diversidade. As duas espécies predominantes são praticamente restritas à área estuarina, mostrando que há uma assembleia exclusiva que não é dispersada para a enseada mas sim está semi-enclausurada (retida) na área por efeito da maré, da elevada concentração de nutrientes e provavelmente da baixa vazão do rio. Como já constatado por Pereira-Filho *et al.* (2001), essas algas formam um cinturão de clorofila-a que migra para montante e jusante do estuário a medida que a maré sobe ou desce. A composição taxonômica dessa assembleia pode variar temporalmente, mas está bastante evidenciado que será formada por espécies oportunistas, de crescimento rápido e tolerantes a variações de salinidade e a altas concentrações de nutrientes e poluentes. Trata-se de uma comunidade planctônica alterada com sinais de eutrofização. É importante citar aqui a presença significativamente maior de ciliados nessas amostras em relação às outras áreas. A presença desses ciliados indica processos ativos de micropastagem, onde tais protozoários consomem bactérias e nanofitoplâncton. Tal condição é típica de sistemas com elevada concentração de matéria orgânica detrital e no caso do rio Camboriú refere-se aos aportes de esgoto e outros efluentes. As bactérias crescem degradando a matéria orgânica e os ciliados consomem as bactérias. Esse processo por sua vez, disponibiliza nutrientes ao fitoplâncton. Mesmo o efluente tratado da estação municipal de tratamento de esgotos, uma vez que é lançado de forma pontual e concentrada no estuário, é um aporte significativo para o estabelecimento dessas comunidades alteradas e indicadoras de poluição orgânica

Em relação à Assembleia (B), destacam-se os seguintes aspectos:

- 
- Nas estações da enseada proximal e rio Marambaia, 85% do fitoplâncton é constituído por 8 táxons (*Pseudo-nitzschia* sp. 1, *Skeletonema* spp., *Pseudo-nitzschia* sp. 2, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Chaetoceros* cf. *constrictus*, *Asterionellopsis glacialis*, Fitoflagelado 2, *Bacteriastrum* sp., *Chaetoceros lorenzianus* e *Chaetoceros curvisetus*. Somente o fitoflagelado 2 não pertence à classe das diatomáceas (Bacillariophyceae). Essas diatomáceas, por sua vez, são típicas oportunistas de zona costeira, que proliferam em condições de elevada concentração de nutrientes. Excetuando-se *Asterionellopsis glacialis*, que é típica de zona de arrebentação, portanto autóctone, todas são espécies neríticas, que são transportadas da plataforma continental para a enseada, onde encontram maiores concentrações de nutrientes e proliferam. As densidades de células das estações #11, #12 e #13 podem ser consideradas elevadas, mas a repartição da biomassa entre um número maior de táxons não indica necessariamente floração. Por outro lado, chama a atenção que o táxon dominante pertence ao gênero *Pseudo-nitzschia*, que possui espécies potencialmente tóxicas, produtoras de ácido domóico (toxina amnésica). A proliferação de *Pseudo-nitzschia* spp. se dá em zonas costeiras turbulentas com elevadas concentrações de nutrientes (silicatos, nitrogênio e fósforo). O consumo dessas algas por peixes, moluscos e microcrustáceos filtradores pode trazer riscos de biomagnificação de toxinas, as quais podem chegar aos seres humanos por consumo de moluscos e peixes maiores, que consomem os filtradores. Trata-se de uma condição alterada, com indícios de eutrofização e com riscos que sugerem a necessidade de um monitoramento mais intenso, especialmente num cenário de ressuspensão de sedimentos, que resulta em liberação de mais nutrientes na coluna de água.

Em relação à Assembleia (C), destacam-se os seguintes aspectos:

- Na área de entorno à jazida, as densidades celulares do fitoplâncton são cerca de uma ordem de grandeza menores que na zona proximal da enseada e nas áreas estuarinas. Cerca de 85% do fitoplâncton é constituído também por 8 táxons, sendo que apenas um táxon difere dos dominantes na área proximal da enseada: *Hemiaulus hauckii*. Trata-se de uma diatomácea de características similares as demais, descritas acima para a área proximal da enseada. Essa similaridade qualitativa do fitoplâncton dominante, mas com menores densidades celulares, reforça a ideia de que o fitoplâncton nerítico incrementa suas populações ao encontrar as águas mais ricas em nutrientes que estão próximas a zona de arrebentação da enseada. A importância quantitativa maior de *Asterionellopsis*

---

*glacialis* - uma diatomácea epibêntica ou bento-planctônica - nessa área sugere certa interação entre o pelágico e o bêntico, que não é tão intensa na área proximal da enseada. Essa espécie, em condições normais, supostamente deveria ser dominante na zona de arrebentação e, portanto, na zona proximal da enseada. Porém, a condição hidroquímica alterada deve favorecer as espécies neríticas planctônicas em detrimento de *A. glacialis*. Por outro lado, deve ser lembrado que há duas espécies de diatomáceas epibênticas invasoras que florescem na zona bêntica da enseada: *Amphitetras antediluviana* e *Biddulphia biddulphiana*. Essas algas, juntamente com briozoários epibênticos, são responsáveis por imensas arribadas junto à praia ao longo do ano. O fato de praticamente não terem sido encontradas essas espécies de diatomáceas nas amostras de plâncton dessa campanha reforça a ideia de que as mesmas são essencialmente epibênticas e podem ter assumido o nicho ecológico de diatomáceas nativas de zona de arrebentação como *A. glacialis*. Essas populações de diatomáceas bênticas indicam ainda a existência de um compartimento consideravelmente isolado de produção primária, relacionado ao ambiente bêntico. Compreender os mecanismos que levam a proliferação e domínio dessas diatomáceas e briozoários na zona bêntica da enseada é uma condição imperativa para a compreensão da ecologia da mesma, que mostra, como visto, sinais nítidos de eutrofização em progresso, a qual só não é mais intensa ou não está consolidada devido a intensa circulação da enseada, que por sua vez, não parece tão eficiente na zona estuarina do rio Camboriú.

Comparando-se os dados obtidos para a composição do fitoplâncton no presente estudo com os obtidos pela PROSUL em 2007, verificam-se algumas similaridades e diferenças. A riqueza total por amostra no estudo de 2007 variou de 16 a 47 táxons, enquanto que no presente estudo variou de 5 a 31. No estudo de 2007 foram diferenciados ou identificados 98 táxons, enquanto que no presente, 93 táxons, a maioria dos quais comuns nos dois estudos. As diferenças se devem a fato de que no presente estudo houve um maior detalhamento amostral incluindo mais regiões internas do estuário, onde as densidades, riquezas e composições taxonômicas diferem um pouco da enseada, como já demonstrado acima.

Tanto no estudo de 2007 como no presente estudo, as diatomáceas foram amplamente dominantes. Tanto em 2007 como em 2013 espécies dos gêneros *Pseudo-nitzschia*, *Chaetoceros*, *Guinardia*, *Leptocilyndrus*, *Skeletonema* entre outras, foram abundantes, porém, em 2007 as mais dominantes foram *Asterionellopsis glacialis* e *Leptocilyndrus*

---

*minimus* e em 2013 dominaram *Thalassiosira* sp. no estuário e *Pseudo-nitzschia* spp. e *Skeletonema* spp. na enseada. Essa alternância na dominância entre diferentes espécies de diatomáceas é comum em ambientes costeiros, dinâmicos e com oferta não limitante de nutrientes como é o caso da área de estudo em questão. Destaca-se que em 2013 nenhum dinoflagelado (Dinophyceae) apareceu entre os táxons dominantes; já em 2007 o dinoflagelado *Ceratium furca* esteve entre as 10 espécies mais abundantes. Já em relação à frequência de ocorrência nas amostras, *Pseudo-nitzschia* spp.; *Chaetoceros* spp. e *Hemiaulus* spp. foram táxons recorrentes e muito frequentes nas duas ocasiões amostradas (2007 e 2013), evidenciando uma tendência de manutenção de populações de certas espécies na área, que poderiam ser chamadas de espécies típicas.

#### 1.1.1.1.4. Considerações Finais

- As concentrações de clorofila-a, as densidades de células e a composição predominantemente de diatomáceas no fitoplâncton da área estudada indicam uma tendência a elevadas concentrações de nutrientes, oriundas da decomposição da matéria orgânica, por sua vez derivada dos esgotos, detritos e efluentes diversos veiculados a enseada de Balneário Camboriú pela atividade urbana e rural na bacia. Essa situação é mais intensa no estuário do rio Camboriú, que mostrou a presença de densidades de células típicas de florações.
- As concentrações de clorofila-a obtidas para a enseada nesse estudo foram significativamente menores que as encontradas em estudo similar em 2007. Essas diferenças podem estar relacionadas a variações sazonais e meteorológicas que propiciaram em 2007 maiores biomassas fitoplanctônicas que em 2013. Em relação ao estuário, as concentrações aqui obtidas foram altas porém menores que as verificadas em 1998, podendo essa diferença também estar relacionada a aspectos sazonais ou ocasionais típicos da alta heterogeneidade e variabilidade ocorrentes nesse sistema. Para afirmar se está havendo, com o passar do tempo, uma redução nas biomassas fitoplanctônicas, o que indicaria redução na poluição orgânica, seria necessário um monitoramento mais frequente da biomassa, pelo menos com análises de clorofila-a, que são metodologias mais rápidas e simples. Não se pode descartar a possibilidade de as massas de diatomáceas bênticas que arribam na praia estarem competindo vantajosamente pelos nutrientes em detrimento das populações planctônicas, mas essa é um hipótese que deve ser testada de forma direcionada.

- 
- O fitoplâncton da enseada e do estuário do rio Camboriú mostrou uma considerável heterogeneidade na sua densidade e composição, tanto horizontalmente como verticalmente. A tendência a maior heterogeneidade na distribuição do fitoplâncton é típica de sistemas com elevadas biomassas. Situações similares foram detectadas em estudos anteriores (1998 e 2007).
  - A distribuição do fitoplâncton ao longo de um ciclo de maré mostrou a existência de uma assembleia fitoplanctônica persistente na área estuarina mais interna do rio Camboriú, favorecendo a retenção de populações e a formação de florações nessa área. A feição confirma estudos anteriores que identificaram um cinturão de biomassa fitoplanctônica nessa área, o qual se move entre as imediações da embocadura e o extremo interno do estuário conforme forçantes como maré, processos costeiros relacionados a ondas e vento e vazão do rio Camboriú. A vazão em geral baixa desse rio favorece esse processo de retenção.
  - O fitoplâncton da região proximal da enseada mostrou biomassas relativamente altas, porém menores que as encontradas na região estuarina, resultando em uma maior diversidade de espécies na enseada do que no estuário.
  - O fitoplâncton da área próxima a jazida de areia mostrou densidade significativamente menor que nas demais áreas, porém com composição de espécies similar. Esta situação sugere que populações neríticas são trazidas a enseada e acabam por proliferar devido as maiores concentrações de nutrientes; porém não pode ser descartada a possibilidade de que as populações fitoplanctônicas verificadas nessa área sejam populações mais densas oriundas da área mais proximal e que estão passando por diluição ou dispersão. Amostragens em áreas mais afastadas seriam necessárias para confirmar essas hipóteses. Vale citar que os táxons fitoplanctônicos mais frequentes e dominantes na área têm se repetido entre diferentes estudos ao longo do tempo, mostrando a presença de assembleias típicas.
  - Apesar da extrema abundância de diatomáceas bênticas associadas a briozoários em eventos recorrentes de arribadas na Praia Central de Balneário Camboriú, esses organismos não foram significativamente presentes nas amostras planctônicas, indicando a existência virtualmente independente de microprodutores primários bênticos e planctônicos na enseada. O papel dessas populações de diatomáceas bênticas na remoção de nutrientes deve ser analisado,

---

pois pode representar um elevado consumo, que por sua vez pode ser crítico na regulação das populações fitoplanctônicas. A existência desses processos expõe o grau de complexidade da ecologia local e destaca a necessidade de um monitoramento mais frequente. ao mesmo tempo mostra como a ecologia do sistema se ajusta às alterações e variações ambientais e age como um filtro de poluentes.

- As diatomáceas *Pseudo-nitzschia* spp. estiveram entre as microalgas planctônicas mais abundantes em todos os subambientes da área de estudo. Essas espécies são potencialmente tóxicas e sua prevalência e densidade deve ser monitorada, pois sugerem riscos a saúde humana e ecológica. Em estudo de 2007 essas microalgas também foram muito abundantes e frequente e estão entre os táxons que poderiam ser considerados típicos da área em estudo. Alterações como ressuspensão de sedimentos e aumento da carga poluidora na enseada podem resultar em incremento dessas populações, que são especialmente favorecidas em elevadas concentrações de nitrogênio, fósforo e silicatos.
- Ainda em relação a microalgas potencialmente tóxicas, não foram verificadas populações numericamente importantes de dinoflagelados no presente estudo. Entretanto, num contexto de mineração da jazida de areia, é importante lembrar que podem ocorrer cistos de dinoflagelados acumulados ao longo de muitos anos no sedimento dessa área. A ressuspensão desses sedimentos pode ressuspender também esses possíveis cistos, os quais podem reverter em populações planctônicas consideráveis de dinoflagelados, entre os quais alguns podem ser tóxicos. Vários estudos já mostraram a presença de dinoflagelados potencialmente tóxicos na região, por isso a preocupação é legítima. O surgimento de florações de dinoflagelados tóxicos após a dragagem, deslocamento ou simples ressuspensão de sedimentos na zona costeira é bastante frequente em várias regiões. Logo, seria importante, antes de efetivamente ativar a jazida realizar uma pesquisa sobre a presença de cistos de dinoflagelados nos sedimentos da área. Essa pesquisa pode ser realizada um única vez, já que as populações de cistos são fruto de sedimentação a longo prazo, não modificando significativamente em períodos sazonais ou interanuais.
- A análise do fitoplâncton, apesar de trabalhosa e exigente de alto nível de especialização e experiência por parte do analista, mostrou-se muito útil e sensível para caracterizar a ecologia local. Um monitoramento em longo prazo,

---

incluindo a análise do compartimento bêntico para detecção de populações de diatomáceas epibênticas seria relevante para a detecção de impactos positivos e negativos de obras costeiras ou incremento/diminuição de poluição. Para facilitar as futuras avaliações e tornar a análise do fitoplâncton mais acessível a um maior número de técnicos ambientais, seria de grande valia o processamento das amostras qualitativas de fitoplâncton geradas neste e em outros estudos a fim de detalhar a análise taxonômica e gerar bancos de dados e imagens. Estes poderão subsidiar análises futuras em estudos de impacto ambiental e monitoramentos locais e regionais.