



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DO LITORAL PAULISTA
UNIDADE DE SÃO VICENTE**

**INFLUÊNCIA DA PLUMA DA BAÍA DE SANTOS NO COMPORTAMENTO
ESPECTRAL DA ABSORÇÃO DA LUZ PELO FITOPLÂNCTON**

Rafael Riani Costa Perinotto

**São Vicente – SP
2006**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DO LITORAL PAULISTA
UNIDADE DE SÃO VICENTE**

**INFLUÊNCIA DA PLUMA DA BAÍA DE SANTOS NO COMPORTAMENTO
ESPECTRAL DA ABSORÇÃO DA LUZ PELO FITOPLÂNCTON**

Rafael Riani Costa Perinotto

Orientadora: Profa. Dra. Áurea Maria Ciotti

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Campus do Litoral
Paulista - UNESP, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas,
modalidade Gerenciamento Costeiro.

São Vicente – SP

2006

Perinotto, Rafael Riani Costa

Influência da pluma da Baía de Santos no comportamento espectral da absorção da luz pelo fitoplâncton / Rafael Riani Costa Perinotto. – São Vicente, 2006.

43 p.

Trabalho de conclusão (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental do Litoral Paulista-Unidade São Vicente.

Orientadora: Áurea Maria Ciotti

1. Oceanografia biológica 2. Fitoplâncton

CDD 551.46

Palavras-chaves: pluma; fitoplâncton; absorção de luz; Baía de Santos

Dedico esta monografia a uma pessoa muito especial, que me foi muito importante nos últimos meses, e que, além de me proporcionar paz e um bem imenso e me mostrar e ajudar a perceber e aprender tantas coisas e sentimentos, ainda me deu muita força na finalização deste trabalho.

“Qualquer caminho é apenas um caminho, e não constitui insulto algum, para si mesmo ou para os outros, abandoná-lo quando assim ordena o seu coração”.

(Carlos Castaneda)

Quase tudo que existe de grandioso existe com um “apesar de”, ou seja, algo que se realizou apesar de preocupações e tormentas, apesar da pobreza, do abandono, da fragilidade física, do vício, da incerteza, da inconstância e de mil outros obstáculos.

(texto modificado de um trecho do livro “Morte em Veneza”, de Thomas Mann).

Nada é definitivo, mas tudo deve estar definido, ao menos em nossos corações

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus familiares, em especial meus pais e irmãos.

Agradeço a toda a comunidade da UNESP – São Vicente, em especial aos estudantes da turma do Gerenciamento Costeiro de 2006.

Agradeço aos meus companheiros de república (K-NAVIAL) e do dia a dia, Eduardo, Fernando e Lacraia; por tantas risadas, bagunças, estudos, confiança e tudo o mais.

Agradeço a minha orientadora Professora Doutora Áurea Maria Ciotti, por toda a atenção e dedicação; e a Caju e a Fabi pela ajuda, participação e companheirismo em tantas etapas de desenvolvimento do trabalho.

Agradeço a toda a equipe do Projeto Temático FAPESP ECOSAN pelo suporte durante os cruzeiros oceanográficos; e ao pessoal do IOUSP (Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo), pelos dados cedidos e laboratórios e equipamentos emprestados. Aos professores doutores Salvador Airtton Gaeta, Paulo Yukio Gomes Sumida, Sônia Maria Flores Giancesella; e à Flávia M. P. Saldanha-Corrêa.

Agradeço também à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), da qual fui bolsista de Iniciação Científica - Processo 04/12699-0.

Resumo

A absorção da luz pelo fitoplâncton é um dos principais fatores determinando as taxas de produtividade primária em um local, e essa variável é alterada por diferentes características do ambiente. Nesse trabalho avaliamos a influência da pluma do sistema estuarino da Baía de Santos sobre a absorção da luz pelo fitoplâncton na plataforma continental adjacente. Foi analisada uma base de dados contendo observações de duas campanhas oceanográficas realizadas em setembro e outubro de 2005. Esses cruzeiros apresentaram desenhos amostrais distintos e o tratamento dos dados para identificação da área passível à influência da pluma foi, portanto, diferenciado. Os dados de magnitude e comportamento espectral de absorção de luz pelo fitoplâncton e pelos detritos, obtidos dentro dessa área, foram estatisticamente comparados com o restante da região de estudo. O desenho amostral de outubro revelou-se mais adequado aos objetivos deste trabalho, e a área de influência da pluma foi facilmente identificada, sendo observadas, nessas águas, maiores magnitudes para as absorções de luz pelo fitoplâncton e pelos detritos, e a predominância de organismos fitoplanctônicos maiores. Os resultados sugerem que o impacto da pluma é decorrente da exportação de material de origem estuarina, e de condições que favorecem a produção de material particulado no interior da pluma, mas que seu efeito parecia restrito a poucos quilômetros. Os resultados de setembro, com maior abrangência espacial, indicam influência das águas adjacentes à Baía de Santos na plataforma interna, cujas massas de água parecem ser enriquecidas pelas águas desta baía por intensa mistura. Esses dados sugerem que essas massas de água enriquecidas atingem, pela costa, as proximidades da Ilha de São Sebastião. Pôde-se observar que a quantificação da variabilidade dos parâmetros bio-ópticos, como função de variáveis físico-químicas, são ferramentas importantes ilustrando processos produtivos na plataforma continental; e que os resultados desses parâmetros podem ser aplicados em programas de monitoramento ambiental com resolução espaço-temporal mais adequada a ambientes dinâmicos.

Palavras-chaves: pluma; fitoplâncton; absorção de luz; Baía de Santos

Abstract

Primary production rates are primarily functions of phytoplankton light absorption, which is modified by physical-chemical characteristics of a given region. The goal of this work was to evaluate the influence of the estuarine plume of Santos Bay on the magnitude and spectral behavior of both phytoplankton and detritus light absorption over the adjacent continental shelf. A data set containing results from two cruises performed in September and October 2005 over the continental shelf was used. The cruises presented distinct experimental designs and thus, the data analysis was also differentiated. The influence of the plume on the light absorption by phytoplankton and detritus was tested statistically after a physical-chemical classification of the water masses. During October 2005, the experimental design was more appropriated to detect the extension of the plume, and during this cruise we observed that the magnitudes of both phytoplankton and detritus light absorption were significant higher inside the plume, with predominance of larger phytoplankton cells. Our results suggest that the plume's impact over the shelf is mainly exporting the estuarine material, and that the plume itself promote the production of particulate mater, however, this effect seem restrict to a small region, a few kilometers off the Santos Bay. During the cruise of September 2005, designed to cover a larger geographical area, the data suggest the influence of the estuarine water over the continental shelf through intense mixture with coastal waters. In addition, this enriched water mass seem to reach the continental shelf in the proximity of São Sebastião. We observed that the quantification of bio-optical parameters as a function of physical-chemical variables are important tools to illustrate productive processes in continental shelf areas. Currently, these parameters are derived from remote sensing images and, thus, our results can be applicable in monitoring programs with a spatial and temporal scale more suitable for dynamic environments.

Keywords: plume; phytoplankton; light absorption; Santos Bay

Sumário

1 - Introdução	9
2 - Materiais e Métodos	14
2.1 – Cruzeiro de Outubro	14
2.2 – Cruzeiro de Setembro	17
2.3 – Absorção da luz pelo material particulado	20
2.3.1 - Parametrização da absorção da luz pelo fitoplâncton	20
2.3.2 - Parametrização da absorção da luz pelo material particulado não algal (detritos)	21
3 - Resultados e Discussões	23
3.1 – Cruzeiro de Outubro	23
3.2 – Cruzeiro de Setembro	29
4 - Conclusões	36
5 - Referências	38

1 – Introdução

Sistemas de observação costeira são ferramentas importantes para o monitoramento e gerenciamento de ambientes marinhos (Dickey, 2003). Dentre as diversas variáveis que podem ser adquiridas nesses sistemas se destacam as denominadas de bio-ópticas, que incluem, entre outras, a quantificação da capacidade de absorção da luz solar por 3 principais componentes do oceano: as moléculas de água; as partículas (incluindo o fitoplâncton); e as substâncias dissolvidas (Kirk, 1994). A relevância desses dados se baseia no fato de que a luz efetivamente absorvida por esses componentes provê energia para atividades físicas, como a estabilização da coluna de água, biológicas, como a fotossíntese, e químicas, como a foto-oxidação de substâncias orgânicas. As relações entre a irradiância e as propriedades ópticas desses componentes nos permite ainda, com o uso de instrumentos e modelos, a quantificação dos mesmos (IOCCG, 2000 e referências).

Ciotti *et al.* (2002) e Bricaud *et al.* (2004), mostraram que a estrutura de tamanho do fitoplâncton é o principal fator controlando as variações observadas no comportamento espectral da absorção da luz por esses organismos. As relações estreitas entre o tamanho celular e absorção da luz pelo fitoplâncton permitiram a Ciotti *et al.* 2002 sugerirem um método simples para a parametrização de absorção da luz pelo fitoplâncton, que gera dois parâmetros de importância ecológica: a magnitude da absorção de luz no espectro da luz visível e um “fator de tamanho” (Sf) que indica o tamanho dominante dos organismos presentes. Mudanças na abundância e na composição específica do fitoplâncton irão, portanto, se manifestar em diferentes comportamentos espectrais da absorção da luz no ambiente, o que por sua vez influenciará diretamente nas taxas de produtividade e nos ciclos locais de materiais.

As observações das variações em tamanho do fitoplâncton auxiliam em programas de monitoramento uma vez que refletem o potencial produtivo de uma região (Cullen *et al.*, 2002). Ciotti e Bricaud (2006) descrevem um método capaz de extrair o fator de tamanho Sf de dados de cor do oceano.

A área de estudo deste projeto envolve a região de Plataforma Continental adjacente à saída da Baía de Santos, localizada na porção sul da costa do estado de São Paulo. Estudos anteriores na plataforma continental do estado de São Paulo (Ciotti e Gaeta, 2002) mostram que o fitoplâncton e as substâncias dissolvidas são os principais componentes alterando o comportamento da luz no ambiente. A absorção da luz pelo fitoplâncton é influenciada pelo sombreamento intracelular dos pigmentos ("empacotamento dos pigmentos" ou "pigment packaging", descrito por Duysens, 1956) e pela composição e concentração de pigmentos (ver Bricaud *et al.*, 1995 e referências), função dos grupos taxonômicos presentes, disponibilidade e concentração de nutrientes e disponibilidade de luz. A eficiência fotossintética desses organismos, que resulta em maior ou menor produtividade primária, depende em grande parte de sua capacidade de absorção de luz. Em sistemas de plataforma continental sob a influência direta de estuários, processos físicos e químicos particulares influenciam esse panorama em pequenas escalas de tempo. É importante, portanto, se quantificar os efeitos que as massas de água estuarinas podem eventualmente provocar nas comunidades locais da plataforma.

As plumas estuarinas e ribeirinhas afetam os ciclos hidrológicos e a estabilidade termodinâmica das regiões sob sua influência (Hu *et al.*, 2004). A presença da pluma altera os processos de mistura das massas de água, principalmente na horizontal (Pritchard e Huntley, 2002), modifica os gradientes locais de salinidade e temperatura (De Kok *et al.*, 2001), além de eventualmente influenciar as concentrações de diversos nutrientes (Dagg *et al.*, 2004), e a quantidade de sedimentos e matéria orgânica em suspensão e dissolvidas na água (Davies, 2004; Dagg e Breed, 2003). Assim, o conhecimento da extensão das plumas, de seus padrões de dispersão e de sua taxa de mistura com as águas oceânicas é crítico para os estudos de diversos aspectos físicos, químicos e biológicos das águas da plataforma continental (Hu *et al.*, 2004; Dagg *et al.*, 2004).

A delimitação da região sob influência de uma pluma estuarina ou ribeirinha sobre águas marinhas costeiras é complexa, não havendo um padrão

único para se diferenciar com precisão as áreas internas e externas à influência dessa pluma nos diversos sistemas estuarinos globais. Essa delimitação é geralmente feita através da observação de uma frente halina (De Kok *et al.*, 2001; Davies, 2004) onde se nota a maior variação por espaço dentro do gradiente de salinidade (Kourafalou *et al.*, 1996). A detecção desta frente, porém, depende muito dos processos de mistura decorrentes principalmente dos ventos e das marés (Pritchard e Huntley, 2002) e muitas vezes um gradiente de temperatura é também necessário para facilitar a elucidação da extensão de influência da pluma (De Kok *et al.*, 2001). Conseqüentemente, as frentes formadas por essas plumas sobre as águas oceânicas são dinâmicas e com amplas variações em seus formatos tanto no tempo como no espaço. Assim são poucos os estudos com medidas de campo que possuem uma resolução espaço-temporal compatível com uma abordagem sinóptica ideal. Geralmente imagens de satélites são utilizadas para auxiliar esse tipo de interpretação (Pritchard e Huntley, 2002), e aqui um conhecimento das variáveis bio-ópticas, como a absorção da luz, pode ser de importância fundamental.

A maior parte dos estudos descrevendo as propriedades bio-ópticas das plumas estuarinas reporta as variações espaciais sobre a Matéria Orgânica Dissolvida Colorida (MODC), e não especificamente sobre o fitoplâncton, já que nesses ambientes a MODC geralmente é o componente mais importante, devido às várias fontes de ácidos húmicos nos mesmos (IOCCG 2000). Existem relatos de que, durante o processo de mistura, a alta concentração de MODC comumente associada ao corpo de água menos salino, mascara as propriedades ópticas de características tipicamente marinhas (Coble 1996; Del Castillo *et al.*, 1999). Segundo Del Castillo *et al.*, 2000, existe um ponto, denominado “ponto de inflexão”, no qual as proporções de MODC, medidas por fluorescência, dos dois corpos de água se tornam similares e a assinatura das características ópticas tipicamente marinhas rapidamente se tornam proeminentes e dominantes. O valor de salinidade ao longo do gradiente em que esse ponto de inflexão se encontrará depende, principalmente, da concentração de MODC no corpo de água doce ou estuarino; de forma que,

quanto maior for essa concentração, maior será o valor de salinidade do ponto de inflexão. Apesar de ainda pouco compreendido (Del Castillo *et al.*, 2000), alguns estudos têm demonstrado, durante o processo de mistura de águas estuarinas com águas mais salgadas sobre a plataforma continental, evidências da ocorrência de floculação da MODC resultante do gradiente de salinidade. Esse processo potencialmente remove matéria orgânica da coluna de água por sedimentação e interfere na interpretação da influência da pluma nesse componente.

A comunidade fitoplanctônica presente no ambiente de influência da pluma estuarina sobre as águas da plataforma continental pode ser afetada de diversas maneiras, e, uma vez alterada, serão modificadas as teias alimentares e os ciclos biogeoquímicos locais (Lohrenz *et al.*, 1999; Dagg *et al.*, 2004). De maneira geral, as atividades e a abundância do fitoplâncton dependem do balanço entre as modificações provocadas na turbidez da água (e a conseqüente disponibilidade de luz) e das concentrações locais de nutrientes. Esse balanço é principalmente controlado pelas taxas e processos de mistura entre as massas de água de origem estuarina e marinha, e pelas concentrações e propriedades dos materiais em suspensão e dissolvidos associados ao corpo de água de origem continental.

Em ambientes de plataforma continental com influência de aportes continentais se observa, geralmente, uma transição entre a limitação por luz para a limitação por nutrientes de acordo com o gradiente de salinidade em direção às águas oceânicas (Smith e DeMaster, 1996). Assim, espera-se encontrar as melhores condições para o crescimento fitoplanctônico próximo à região da frente da pluma. Todavia, a forma com que essas variáveis interagem com os processos físicos de mistura não é muito clara (Lohrenz *et al.*, 1999). Estudos que constataram um grande aumento na concentração de nutrientes sobre a plataforma continental, em decorrência da entrada da pluma, relatam a ocorrência das maiores taxas de crescimento fitoplanctônico e de concentração de clorofila em águas com maiores concentrações de nitrogênio e menores valores de salinidade, portanto dentro da área de influência da pluma, e não na região de frente (Davies, 2004; Dagg e Breed, 2003). Quando os estuários são

ambientes produtivos, as comunidades locais de fitoplâncton tendem a ser exportadas juntamente com os sedimentos e nutrientes pela pluma.

As águas da Baía de Santos apresentam conhecidamente altas taxas de eutrofização (sensu Nixon, 1992), função da grande entrada de nutrientes e matéria orgânica tanto pelo emissário submarino de Santos como pelos estuários de Santos e de São Vicente (Moser, 2002; Moser *et al.*, 2004). Assim, espera-se que a eutrofização das águas do interior da Baía de Santos provoque um aumento da biomassa fitoplanctônica, que se manifestará numa elevação da magnitude de absorção da luz pelo fitoplâncton. Todavia, o Sistema Estuarino de Santos é razoavelmente impactado por poluentes (CETESB, 2001), que podem alterar essas expectativas por prejudicarem a fisiologia das espécies. Em regiões eutrofizadas, espera-se também dominância de determinados grupos oportunistas compondo essa comunidade, geralmente de menor tamanho celular (Eppley e Weiler, 1979; Yentsch e Phinney, 1989; McClelland e Valiela, 1998). Desta forma, espera-se que as massas de água sob influência direta da pluma possuam, além de maiores magnitudes de absorção da luz em função da maior biomassa, um comportamento espectral da absorção da luz também distinto daqueles observados para as regiões fora da pluma.

Os objetivos deste trabalho são detectar a região sob influência da pluma estuarina da Baía de Santos nas águas superficiais da plataforma continental interna adjacente a esta baía durante duas campanhas de coleta (setembro e outubro de 2005); e avaliar a influência da pluma sobre o comportamento espectral e a magnitude de absorção de luz do fitoplâncton e dos detritos.

2 – Materiais e Métodos

Os dados utilizados nesse trabalho foram obtidos em duas campanhas de inverno/primavera do Projeto Temático FAPESP (2003/09932-1) ECOSAN sobre a plataforma continental adjacente à Baía de Santos no estado de São Paulo, nos meses de setembro e outubro de 2005. Ambas as coletas foram realizadas com o Navio Oceanográfico W. Besnard, do Instituto Oceanográfico da USP, com desenhos amostrais bastante distintos, como apresentado abaixo. Por apresentar um desenho amostral mais apropriado aos objetivos deste projeto, os dados referentes ao cruzeiro de outubro serão apresentados antes dos de setembro.

2.1 – Cruzeiro de Outubro

Esta campanha oceanográfica foi realizada entre os dias 12 e 15 de outubro de 2005. Durante os 4 dias de cruzeiro realizaram-se 40 estações oceanográficas em perfis adjacentes à saída da Baía de Santos (Figura 1). As coletas foram realizadas apenas durante o dia. Cada perfil partia de um mesmo ponto inicial, e eram realizados 2 perfis de amostragem distintos (um em direção a mar aberto e outro em direção à costa), sempre retornando ao ponto inicial, próximo à saída da Baía de Santos. Ao todo, foram realizados 8 perfis de amostragem (Figura 1), numerados de I a VIII a partir do perfil mais ao sul, e em sentido anti-horário. Em todas as estações uma rosete equipada com um CTD Falmouth era lançada para observação dos perfis verticais de temperatura e condutividade, e foram retiradas amostras de água de superfície com garrafas Niskin de 9 litros. As amostras de água foram transferidas para galões escuros, e subamostras foram retiradas dos galões para análise de absorção da luz pelo material particulado e para medidas de salinidade que foram posteriormente analisadas em um salinômetro de bancada Guildline AUTOSAL no Instituto Oceanográfico.

Os valores de distância da costa e profundidade local foram obtidos com os GPS e ecosondas do Noc. W. Besnard. Esses valores, juntamente com a salinidade computada pelos perfis verticais do CTD foram utilizados para classificar as regiões dentro e fora da influência da pluma da Baía de Santos.

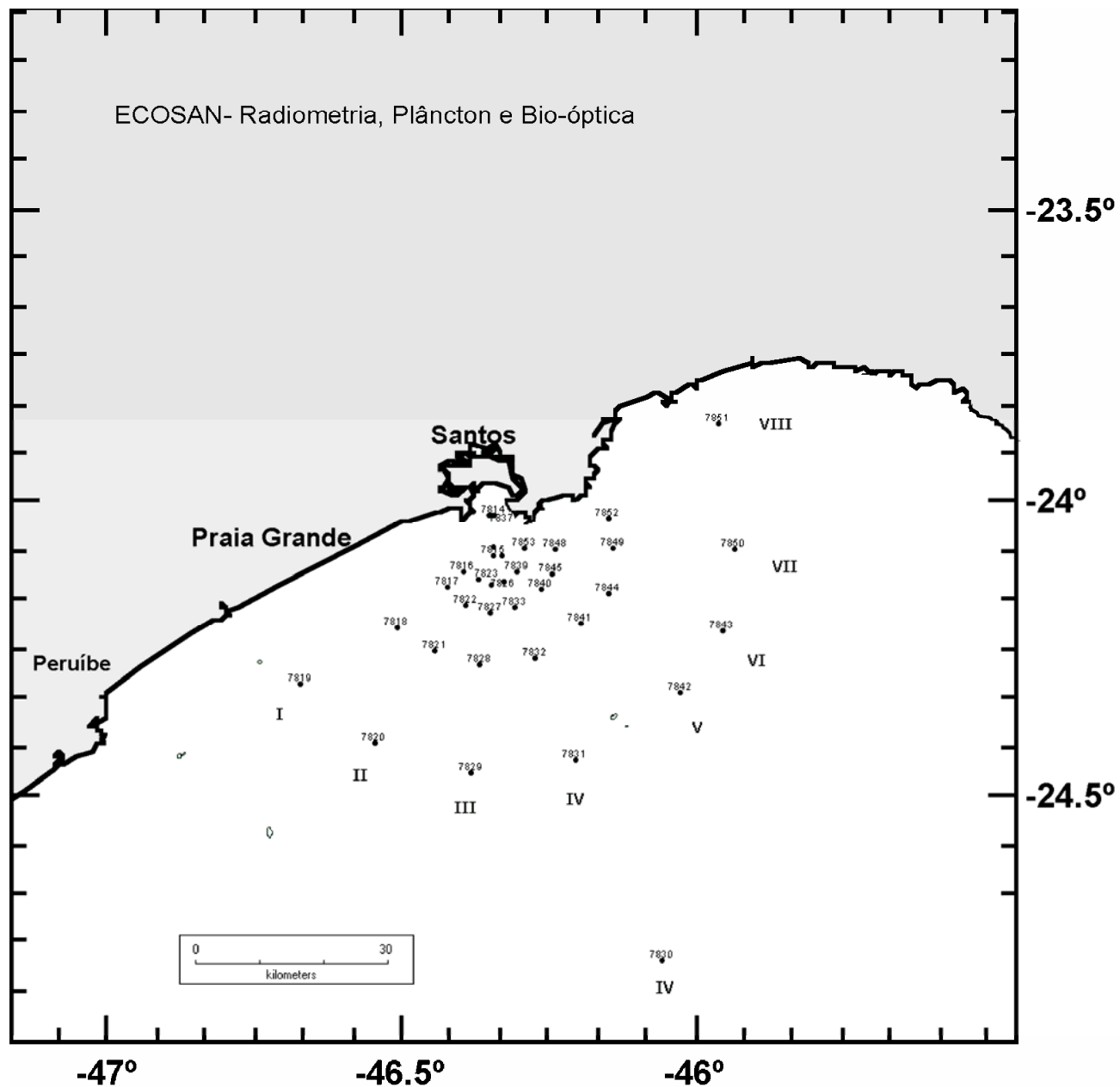


Figura 1 – Imagem representativa da região de estudo, com identificação das estações amostradas durante o cruzeiro de outubro de 2005. Indicação de cada um dos 8 perfis radiais de amostragem em algarismos romanos.

Para o cálculo dos valores de distância da costa, determinou-se inicialmente um ponto de referência, no interior da Baía de Santos, próximo à linha de costa, denominado de ponto 0 (zero) e através das coordenadas

geográficas deste ponto (S 23° 59' 21.85" ; W 46° 20' 40.87") e dos pontos de coleta, calculou-se a distância relativa de cada ponto ao ponto 0.

As estações amostradas foram classificadas dentro de uma das 3 regiões: (i) dentro da área de influência da pluma (P); (ii) zona intermediária de mistura (M); e (iii) fora da pluma (F). O estabelecimento dos limites entre essas regiões foi primeiramente calculado a partir das variações dos valores de salinidade com a distância da Baía de Santos, obedecendo-se à ordem de coleta de cada um dos 8 perfis.

Os valores de salinidade utilizados foram os valores médios obtidos dentro da camada de mistura de cada estação, quando a camada de mistura estava ausente utilizou-se o primeiro valor de salinidade de superfície. A camada de mistura foi determinada através da observação dos perfis verticais do CTD, por uma ausência (ou mínima variação) dos valores de densidade (σ_t , kg/m^3) nos primeiros metros a partir da superfície. Quando a profundidade limite dessa camada não era facilmente visível no perfil, optamos por assumir a variação máxima de $0,1 \text{ kg/m}^3$ de densidade por metro de profundidade como o limite inferior da camada de mistura. Em duas estações (7841 e 7842), porém, os dados do CTD não foram coletados por problemas técnicos, e nesses dois casos apenas, os valores de salinidade superficial medidos no salinômetro de bancada foram utilizados para a classificação das estações. As relações entre os valores de salinidade do salinômetro de bancada e do CTD se mostraram bastante coerentes.

Calculou-se assim, a variação da salinidade por quilômetro entre as estações em relação ao ponto zero, a fim de se detectar a presença de uma frente halina, característica de regiões limites de influência da pluma (ver resultados). Essa variação foi o principal dado usado para a classificação das estações em cada uma das 3 regiões, e quando bem nítida (e.g. variações acima de 0,3 de salinidade por km) as estações foram divididas apenas em dois grupos: dentro (P) ou fora (F) da área de influência da pluma. Todavia, alguns perfis de amostragem não mostraram uma variação brusca de salinidade por quilômetro (ver resultados), e nesses casos os valores de salinidade superficial ou médio da camada de mistura, auxiliaram na

classificação dos pontos em P, M ou F, com a zona intermediária de mistura ficando contida entre valores de 30,79 e 31,75 de salinidade.

Uma vez separados os pontos, os valores de comportamento espectral e magnitude de absorção de luz do fitoplâncton e dos detritos (material particulado não algal) foram estatisticamente comparados através de uma análise de variância para amostras com números de repetições diferentes. Quando ocorreram variações significativas entre as diferentes regiões a um nível de significância de 5%, o teste de Tukey foi aplicado para a determinação de como e quais regiões diferiam entre si. Durante as análises dos filtros, duas amostras foram perdidas (estações 7834 e 7849), e portanto, serão apresentados os resultados de 38 estações para o cruzeiro de outubro.

2.2 – Cruzeiro de Setembro

Esta campanha oceanográfica foi realizada entre os dias 19 e 26 de setembro de 2005. Durante este período realizaram-se 50 estações oceanográficas em perfis aproximadamente perpendiculares à linha de costa (Figura 2). Em cada estação, uma rosete equipada com um CTD Falmouth era lançada para coleta de dados de temperatura e condutividade. Em 45 dessas estações foi coletada água de superfície e o perfil de densidade originado determinou as profundidades de coleta discretas com garrafas de Niskin de 9 litros. As amostras de água foram transferidas para galões escuros, e subamostras foram retiradas dos galões para análise de absorção da luz pelo material particulado. Nas 45 estações com amostras de água totalizaram-se 193 pontos de coleta nos quais foram realizadas as análises de absorção da luz pelo material particulado. Em relação ao cruzeiro de outubro esta campanha apresenta uma abrangência geográfica mais ampla, tanto em relação à distância da costa, como em direção ao norte e ao sul do litoral paulista (vide Figuras 1 e 2). Por essas razões, esse desenho amostral se mostrou pouco eficiente para a detecção da pluma da Baía de Santos, tanto pelas distâncias como pelo tempo decorrido entre as estações. Uma série de análises e classificações foi realizada com os dados obtidos durante o cruzeiro de setembro. Através dos resultados obtidos da análise dos dados do CTD, dos

dados de profundidade local, distância da costa e distância da Baía de Santos (i.e, distância do ponto zero) das estações de coleta do cruzeiro de setembro; e dos resultados obtidos na identificação da pluma para o cruzeiro de outubro, procurou-se identificar a região passível à influência da pluma da Baía de Santos e compará-la com as regiões adjacentes, tanto em direção mais distante da costa, como em direção ao norte e ao sul da plataforma continental interna do litoral paulista amostrada.

Assim como para o cruzeiro de outubro, a profundidade da camada de mistura foi estimada para cada estação; e todas as estações encontradas abaixo da profundidade estabelecida como limite entre a camada de mistura e a pycnoclina foram excluídas das análises, já que não poderiam estar sujeitas à influência da pluma. Dessa forma, a análise dos dados foi realizada com 115 pontos de coleta identificados como pertencentes à camada de mistura. Inicialmente foi realizada uma análise semelhante àquela aplicada aos dados de outubro, com obtenção das salinidades médias da camada de mistura de cada estação, cálculo da distância da costa e distância da Baía de Santos (distância do ponto 0) através de suas coordenadas geográficas; e o cálculo da variação horizontal da salinidade superficial (média para a camada de mistura) por quilômetro. Através dos valores dessa variação e dos valores de salinidade obtidos, as estações foram classificadas, assim como para outubro, em uma das 3 regiões: (i) dentro da área de influência da pluma (P); (ii) zona intermediária de mistura (M); e (iii) fora da pluma (F). Como a camada de mistura é considerada homogênea, todos os pontos de coleta presentes na camada de mistura de cada uma das 45 estações foram classificados como o ponto de coleta superficial. Da mesma forma, para essa classificação foi realizada uma análise de variância para amostras com números de repetições diferentes. Quando ocorreram variações significativas entre as diferentes regiões a um nível de significância de 5%, o teste de Tukey foi aplicado para a determinação de como e quais regiões diferiam entre si.

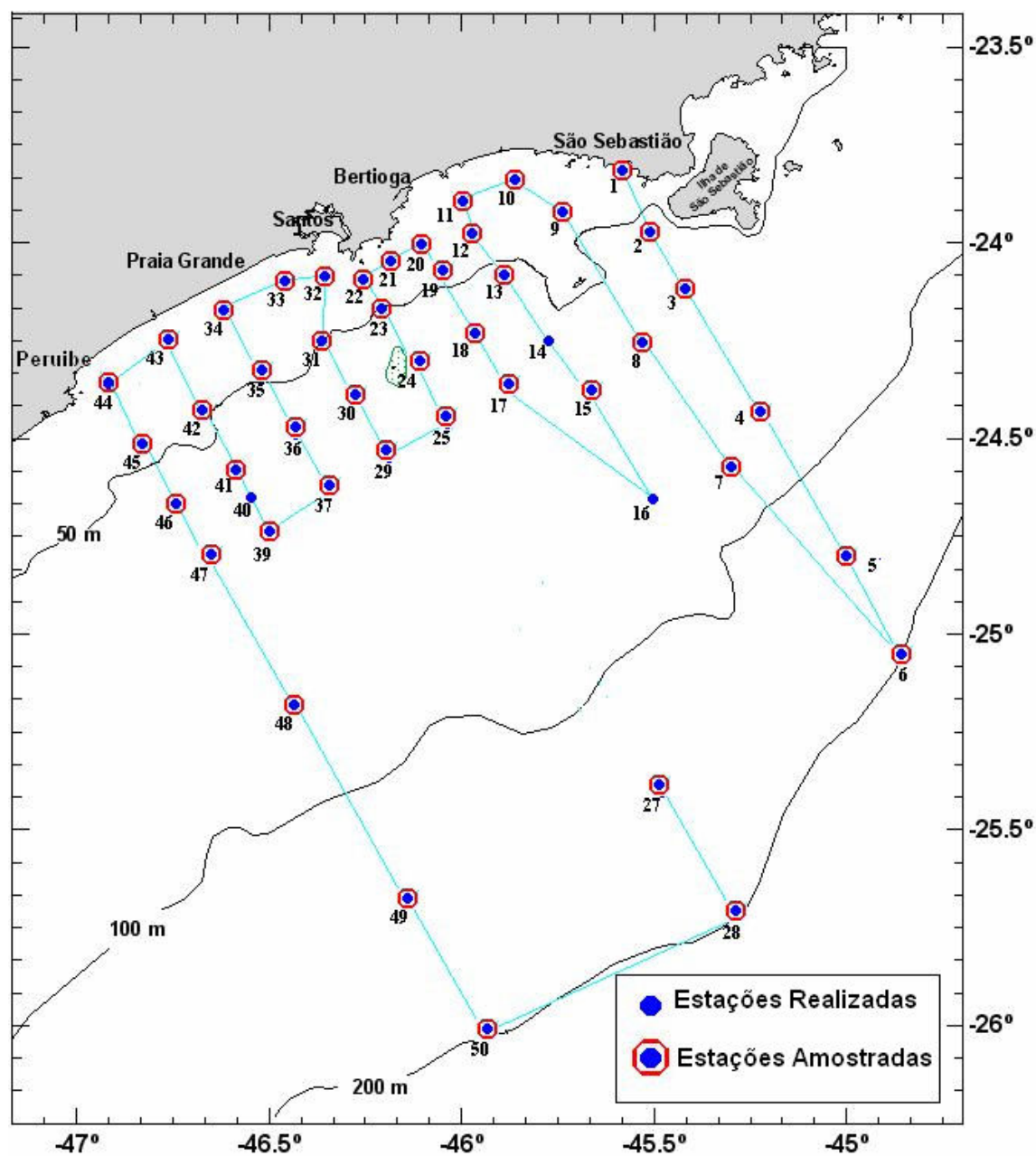


Figura 2 – Imagem representativa da região de estudo, com identificação das estações realizadas durante o cruzeiro de setembro de 2005; estações amostradas, para análise de absorção de luz do material particulado, destacadas circuladas.

2.3 – Absorção da luz pelo material particulado

Para as medidas de absorção de luz pelo fitoplâncton, de cada amostra foram filtrados cerca de 300 a 2000 ml, usando-se filtros de fibra de vidro GF/F de 25 mm de diâmetro. Esses, imediatamente após a filtração, foram colocados em tubos criogênicos e armazenados em nitrogênio líquido. Em laboratório, essas amostras foram descongeladas, mas mantidas em baixa temperatura e abrigadas da luz direta durante as análises. As medidas de absorção da luz pelo fitoplâncton seguiram o método proposto por Tassan e Ferrari (1995), (variações em Tassan *et al.* (2000); Tassan e Ferrari (2002)).

As leituras foram feitas num espectrofotômetro equipado com uma esfera integradora (Hitachi U-3010), onde a orientação do filtro com respeito ao feixe de luz do espectro foi mantida constante. Os filtros foram posicionados na entrada e na saída da esfera integradora para se obter uma correção mais precisa das perdas de luz por espalhamento pelo filtro. Após essas leituras, os pigmentos foram extraídos pela adição de algumas gotas de Hipoclorito de Sódio 1% e subsequente lavagem com água do mar filtrada, então, novas leituras foram realizadas na entrada e na saída da esfera. As leituras iniciais representam a absorção da luz pelo material particulado total (antes da extração) e as leituras feitas após a extração, representam a absorção da luz pelos detritos. A absorção da luz pelo fitoplâncton é calculada através da diferença entre ambas após a aplicação do modelo de Tassan e Ferrari (1995) para a conversão das leituras em valores de absorção de luz (m^{-1}) após se levar em conta o volume filtrado e a área ocupada pelas partículas na superfície dos filtros.

Para a obtenção dos valores de magnitude de absorção de luz do fitoplâncton, foi calculado o valor de absorção médio ($\langle a_{ph} \rangle$, em m^{-1}) computado dentro da faixa do visível (entre 400 e 700 nm) (Garver e Siegel, 1994; Ciotti, 1999).

2.3.1 - Parametrização da absorção da luz pelo fitoplâncton

A curva espectral da absorção da luz pelo fitoplâncton, foi parametrizada de acordo com Ciotti *et al.* (2002). Para tanto, o coeficiente de absorção de luz

pelo fitoplâncton, ($a_{ph}(\lambda)$, m^{-1}) foi inicialmente normalizada pelo valor de absorção médio computado dentro do espectro do visível (entre 400 e 700 nm), gerando $a_{<ph>}(\lambda)$, sem unidades, seguindo (Garver e Siegel, 1994):

$$a_{<ph>}(\lambda) = \frac{1}{301} \sum_{\lambda=400}^{700} a_{ph}(\lambda) \Delta\lambda \quad , \quad (1)$$

Essa normalização é necessária para a comparação de diferenças concentrações de células de fitoplâncton, que controlam a magnitude geral da curva. Cada curva de absorção normalizada foi posteriormente decomposta seguindo Ciotti *et al.* (2002) pelo seguinte modelo espectral de mistura:

$$a_{ph}(\lambda) = a_{<ph>}(\lambda) \cdot [S_{<f>} \cdot \bar{a}_{<pico>}(\lambda)] + [(1 - S_{<f>}) \cdot \bar{a}_{<micro>}(\lambda)] \quad (2)$$

onde $\bar{a}_{<pico>}(\lambda)$ e $\bar{a}_{<micro>}(\lambda)$ são “vetores básicos” ou curvas espectrais normalizadas, como mostrado pela equação (1), de absorção de luz correspondentes ao menor (picoplâncton) e ao maior (microplâncton) tamanho assumido de células, respectivamente. O vetor picoplâncton utilizado aqui corresponde ao valor descrito em Ciotti e Bricaud (2006). O parâmetro Sf na equação representa a contribuição relativa do micro e picoplâncton e é restrito entre os valores máximos 0 e 1 (i.e., quando Sf = 1 a curva espectral representa dominância do picoplâncton). Assim, a decomposição da curva de absorção medida usando a equação 2, gera os parâmetros necessários para a descrição da variabilidade espacial da absorção da luz pelo fitoplâncton: $a_{<ph>}(\lambda)$ que representa sua magnitude, e Sf que representa seu comportamento espectral.

2.3.2 - Parametrização da absorção da luz pelo material particulado não algal (detritos)

Para os detritos, a magnitude de absorção de luz pode ser determinada pela leitura realizada em um comprimento de onda entre 400 e 443 nm, no presente estudo foi assumido o valor de 443 nm. Esse comprimento de onda é utilizado como referência para o cálculo da inclinação da curva, parâmetro que

determina o comportamento espectral dos detritos, o S (Slope, em nm⁻¹) que é o expoente do decréscimo da absorbância com o comprimento de onda, calculado através da equação 3, fornecida em Bricaud *et al.*, 1981;

$$a_{\text{modc}}(\lambda) = A + a_{\text{modc}}(\lambda_0)^{(S(\lambda - \lambda_0))} \quad (3)$$

onde $a_{\text{modc}}(\lambda_0)$, m-1, é o valor da absorção medida em um comprimento de onda de referência, que aqui foi escolhido em 443 nm,. O valor A descreve a inclusão do valor da absorção em 750 nm, anteriormente assumido nulo.

3 – Resultados e Discussão

3.1 – Cruzeiro de Outubro

Nos perfis de amostragem I e II (Figura 1) a variação máxima de salinidade por quilometro (respectivamente 0,529 e 0,322 ups) foi bastante nítida e superior às variações observadas nos demais perfis, permitindo a classificação das estações em dentro ou fora da região de influência da pluma (Figura 3-A).

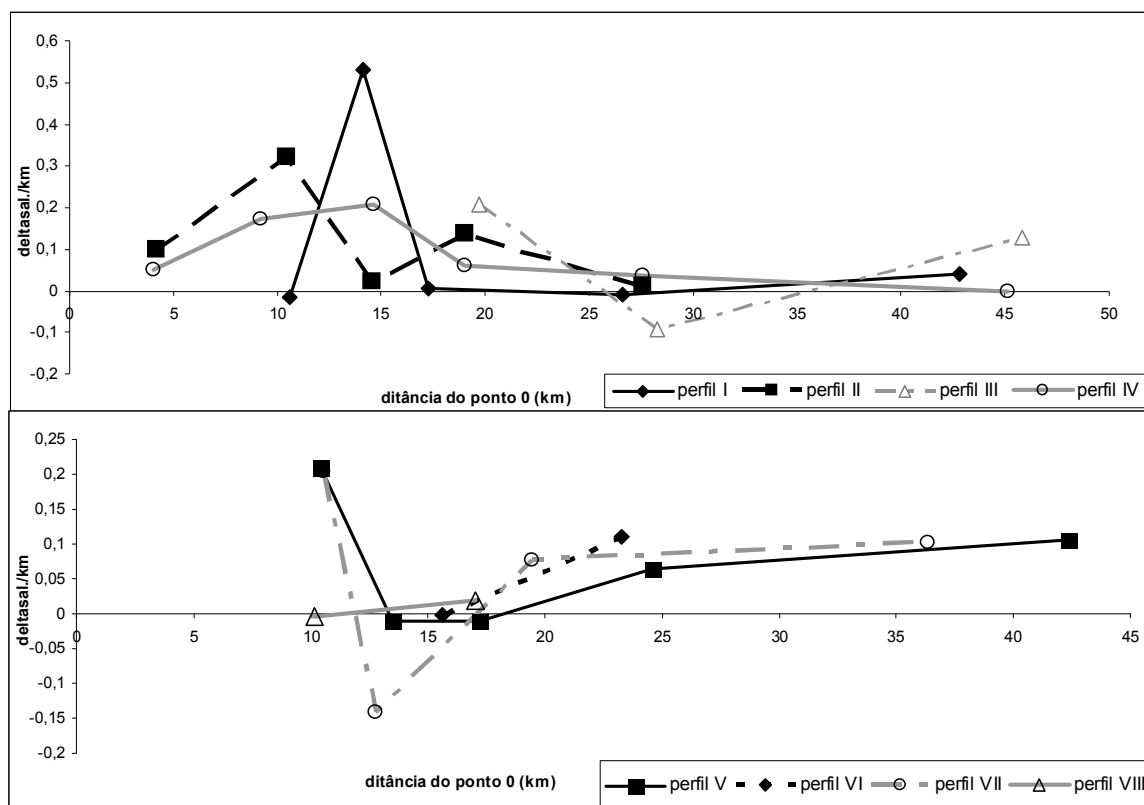


Figura 3 – Variação de salinidade por quilômetro em relação à distância da costa (distância do ponto 0 em km). Acima (3-A) perfis de amostragem I, II, III e IV. Abaixo (3-B) perfis de amostragem V, VI, VII e VIII. Note a diferença de valores nas escalas do eixo y (delta sal./ km). Estações amostradas no cruzeiro de outubro de 2005. Vide Figura 1.

Nos demais perfis, ainda que detectada, a variação máxima de salinidade por quilômetro não foi considerada distinta o suficiente para a identificação de uma frente (Figura 3-B), e nesses casos, os valores observados de salinidade superficial foram utilizados para auxiliar na classificação de cada estação dentro de uma das 3 regiões consideradas (i.e.,

dentro da área de influência da pluma (P), zona intermediária de mistura (M), e fora da pluma (F)). Nesses casos, os valores de salinidade das estações classificadas dentro da zona intermediária de mistura foram sempre entre 30,79 e 31,75 ups, enquanto que os valores de salinidade das estações classificadas fora da região de influência da pluma, foram sempre superiores a 31,97 ups. A salinidade das estações classificadas como dentro da área de influência da pluma, nunca ultrapassou 30,88 ups.

Assim, os resultados de outubro mostram a presença de uma pluma predominantemente na região mais ao sul da plataforma adjacente à saída da Baía de Santos (vide posicionamento dos perfis I a IV na Figura 1), a uma distância de aproximadamente 10 a 20 quilômetros da costa (picos de variação de salinidade na Figura 3-A).

A partir dessa classificação, foram identificados 11 pontos, tanto dentro da área de influência da pluma, como na zona intermediária de mistura, e 16 pontos na região fora da influência da pluma. Os valores médios de salinidade, temperatura e densidade (expressa como σ_t em kg/m^3) da camada de mistura de cada uma das 3 regiões encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores médios de densidade (σ_t ; kg/m^3), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e salinidade (ups), (obtidos através dos perfis do CTD), da camada de mistura de cada uma das 3 regiões classificadas para o cruzeiro de outubro. P = área de influência da pluma. M = zona intermediária de mistura. F = região fora da influência da pluma.

Características médias das regiões (P, M e F) classificadas para o cruzeiro de outubro 2005			
parâmetro	P	M	F
Densidade	20,15	21,20	22,38
Temperatura	22,41	22,44	21,54
Salinidade	29,82	31,17	32,40

A análise de variância dos valores de magnitude de absorção de luz, tanto para o fitoplâncton ($\langle \text{aph} \rangle$, em m^{-1}) como para os detritos (ad_{443} , em m^{-1}), mostra que, a um nível de significância de 5%, existe diferença significativa entre as 3 regiões, sendo que através do Teste de Tukey, constatou-se que a região dentro da área de influência da pluma é a que se difere das demais, apresentando os maiores valores, enquanto que a zona intermediária de mistura e a região fora da pluma não são significativamente distintas (Tabela 2).

Tabela 2: Comparação entre as 3 regiões classificadas para o cruzeiro de outubro. P = área de influência da pluma. M = zona intermediária de mistura. F = região fora da influência da pluma. Parâmetros: $\langle \text{aph} \rangle$ = magnitude de absorção do fitoplâncton (m^{-1}), ad_{443} = magnitude de absorção dos detritos (m^{-1}), Sf = comportamento espectral do fitoplâncton (adimensional), S = comportamento espectral dos detritos (nm^{-1}). Regiões com risco pontilhado representam que não houve diferença significativa constatada para o parâmetro. A diferença entre as 3 regiões foi testada estatisticamente através de uma análise de variância para amostras com números de repetições diferentes; quando constatada a diferença foi aplicado o teste de Tukey para a determinação de como e quais regiões diferiam entre si.

Diferença dos parâmetros de absorção de luz do material particulado entre as regiões classificadas para o cruzeiro de outubro de 2005. F crítico tabelado com alfa 0,05; 35 graus de liberdade no denominador e 2 no numerador = 3,27					
parâmetro	P	M	F	diferença entre as regiões	F calculado
$\langle \text{aph} \rangle$	0,083	0,019	0,012	P > M = F	14,45
ad_{443}	0,105	0,023	0,014	P > M = F	5,15
Sf	0,216	0,385	0,481	P < M < F	34,07
S	0,012	0,012	0,011	-----	2,02

De maneira coerente, observamos que os maiores valores de magnitude de absorção de luz dos constituintes de material particulado coincidem com as estações de menor salinidade (Figuras 4 e 5). Pode se observar que os picos de absorção de luz pelo fitoplâncton não ocorrem nas regiões limites de frente da pluma (caracterizadas pelo aumento brusco de salinidade) como poderia se

esperar (Lohrenz *et al.*, 1999). Os picos mais pronunciados ocorrem dentro da área de influência da pluma, sugerindo que as melhores condições de crescimento se dão nessas águas (intrusão de nutrientes), mas também que a matéria orgânica proveniente dos estuários possam estar sendo exportadas para a plataforma (Davies, 2004; Dagg e Breed, 2003). O mesmo é observado para a absorção de luz pelos detritos com maiores valores em menores salinidades, que igualmente enfatizam o papel dos estuários e da Baía de Santos na produção desse componente.

A análise de variância dos valores de Sf (“fator de tamanho” que descreve o comportamento espectral de absorção de luz do fitoplâncton) mostra que, a um nível de significância de 5%, existe diferença significativa entre as 3 regiões, sendo que através do Teste de Tukey, constatou-se que cada uma das 3 regiões difere das demais, com os menores valores encontrados dentro da área de influência da pluma (P) e os maiores fora (F). (Tabela 2). Esse resultado indica a dominância de organismos fitoplanctônicos com tamanhos maiores dentro da área de influência da pluma, sugerindo condições de crescimento com abundância de nutrientes (Yentsch e Phinney, 1989) no interior da Baía de Santos. Logicamente, em um ambiente tão dinâmico, esses resultados indicam o oportunismo dessas células maiores de acordo com os processos de mistura das massas de água predominantes na região de influência da pluma durante o período de estudo. Mesmo bastante eutrofizado, o ambiente interno da Baía de Santos não mostrou o domínio por células menores que se esperava (Eppley e Weiler, 1979; Yentsch e Phinney, 1989; McClelland e Valiela, 1998).

O comportamento espectral de absorção de luz dos detritos S (inclinação ou “slope” da curva exponencial com o comprimento de onda, em nm^{-1}) não apresentou diferenças a um nível de significância de 5% entre nenhuma das 3 regiões; resultado que poderia já ser esperado uma vez que, em geral, se considera que S, em regiões oceânicas varia muito pouco (Bricaud *et al.*, 1998, Babin *et al.*, 2003).

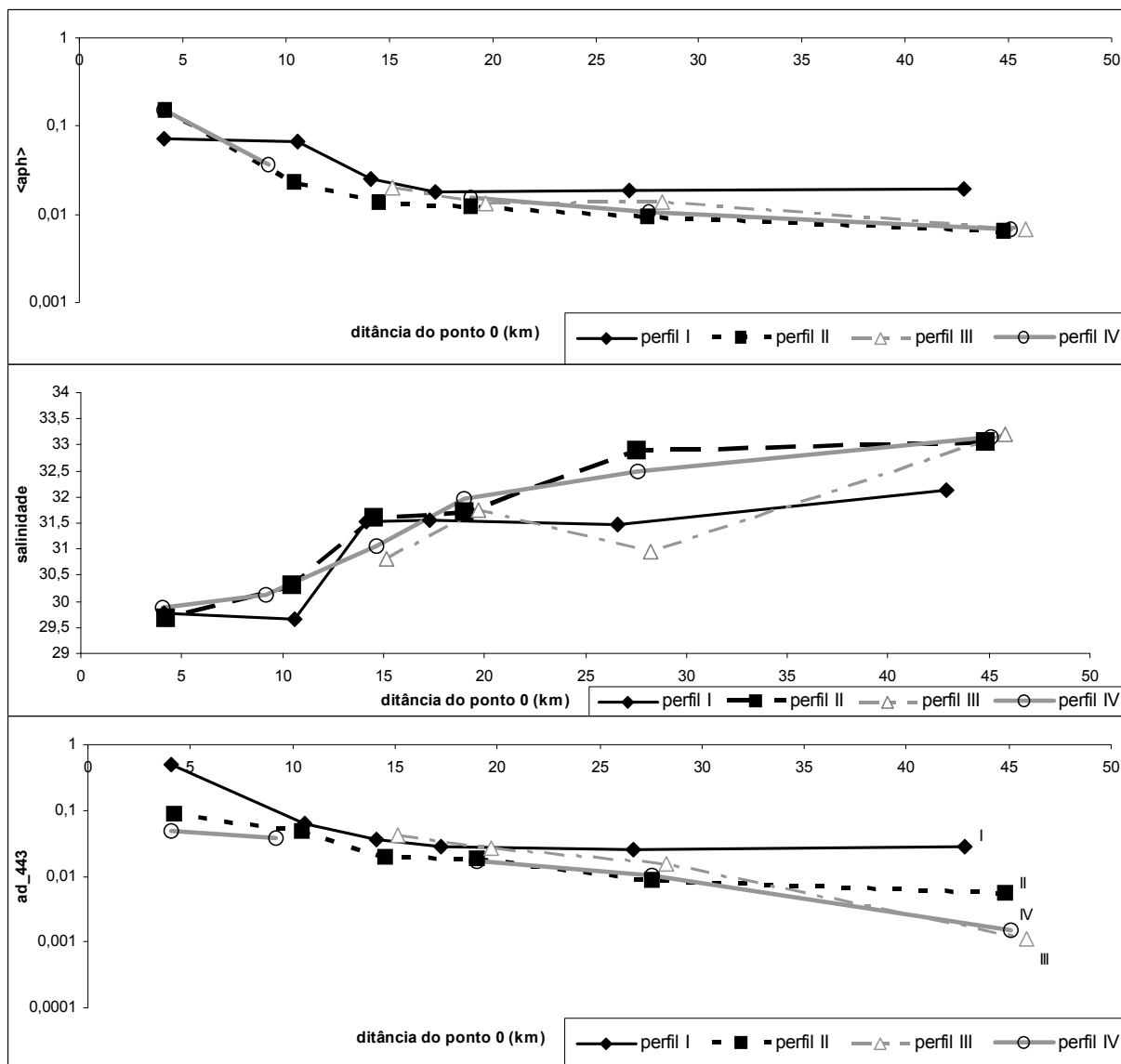
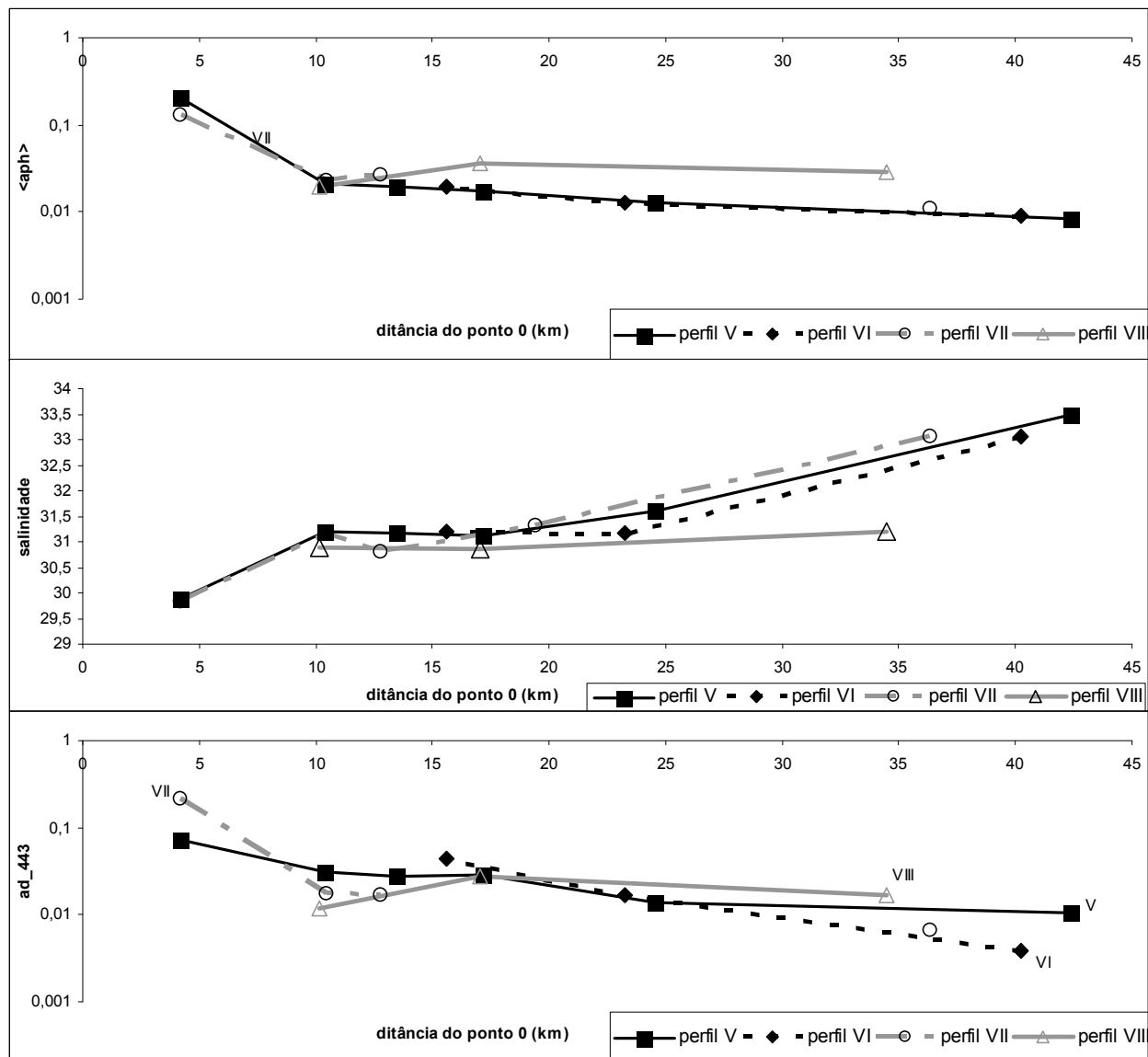


Figura 4 – 4-A: valores de magnitude de absorção de luz pelo fitoplâncton ($\langle \text{aph} \rangle$, em m^{-1}), notar escala logarítmica no eixo y. 4-B: valores brutos de salinidade (ups). 4-C: valores de magnitude de absorção de luz pelos detritos (ad_{443} , em m^{-1}), notar escala logarítmica no eixo y. Todos em relação à distância da costa (distância do ponto 0 em km, nos eixos x) e apenas das estações amostradas nos perfis localizados mais ao sul, perfis de amostragem I, II, III e IV. Estações amostradas no cruzeiro de outubro de 2005. Ver figura 1.



3.2 – Cruzeiro de Setembro

Como dito anteriormente, o desenho amostral da campanha oceanográfica realizada em setembro de 2005 (com perfis perpendiculares à costa e maior abrangência geográfica), não permitiu uma identificação tão simplificada da pluma da Baía de Santos como durante o cruzeiro de outubro de 2005. A aplicação dos mesmos critérios entre os dois cruzeiros faria com que a grande maioria dos pontos de coleta fosse classificada como fora da área de influência da pluma, prejudicando as análises estatísticas.

Como uma primeira estratégia para a comparação entre as amostras, inicialmente foram eliminados os pontos de coleta situados abaixo da profundidade limite da camada de mistura. Estes pontos eliminados não comprometem os objetivos deste trabalho, uma vez que não poderiam estar sujeitos à influência da pluma da Baía de Santos, que devido ao fluxo de massas de água de origem continental que recebe, é menos salina e conseqüentemente menos densa, propagando-se superficialmente sobre as águas da plataforma continental interna.

Dessa forma, dos 193 pontos analisados, 115 foram classificados como situados no interior da camada de mistura das 45 estações amostradas. Esses pontos foram inicialmente classificados em: (i) dentro da área de influência da pluma (P); (ii) zona intermediária de mistura (M); e (iii) fora da pluma (F); de acordo com os valores médios de salinidade da camada de mistura, e de acordo com os valores de variação horizontal da salinidade superficial (média da camada de mistura de cada estação) por quilômetro de distância da costa, em cada um dos 9 perfis aproximadamente perpendiculares à linha de costa identificados, obedecendo-se à ordem de coleta. Por essa análise foram obtidos 16 pontos em (P), 7 em (M) e 92 em (F). Essas regiões foram comparadas através de uma análise de variância para amostras com números de repetições diferentes, e os resultados estatísticos encontram-se apresentados na Tabela 3.

Os resultados dessa análise indicam influência da pluma sobre todos os parâmetros analisados de absorção de luz do material particulado, propiciando

maiores valores de magnitude de absorção tanto do fitoplâncton como dos detritos, que diminuem gradualmente com a distância da costa.

Tabela 3: Comparação entre as 3 regiões inicialmente classificadas para o cruzeiro de setembro. P = área de influência da pluma. M = zona intermediária de mistura. F = região fora da influência da pluma. Parâmetros: <aph> = magnitude de absorção do fitoplâncton (m^{-1}), ad_443 = magnitude de absorção dos detritos (m^{-1}), Sf = comportamento espectral do fitoplâncton (adimensional), S = comportamento espectral dos detritos (nm^{-1}). A diferença entre as 3 camadas foi testada estatisticamente através de uma análise de variância para amostras com números de repetições diferentes; quando constatada a diferença foi aplicado o teste de Tukey para a determinação de como e quais camadas diferiam entre si.

Diferença dos parâmetros de absorção de luz do material particulado entre as regiões (P), (M) e (F), classificadas para o cruzeiro de setembro de 2005. F crítico tabelado com alfa 0,05; 112 graus de liberdade no denominador e 2 no numerador igual a 3,077

parâmetro	P	M	F	diferença entre as regiões	F calculado
<aph>	0,046	0,034	0,013	P > M > F	112,03
ad_443	0,140	0,080	0,020	P > M > F	95,68
Sf	0,258	0,316	0,429	P = M < F	59,53
S	0,0125	0,0122	0,0107	P = M > F	36,19

O comportamento espectral de absorção de luz do fitoplâncton, representado por Sf, não mostrou diferença significativa entre a região de influência da pluma e a zona intermediária de mistura, porém pode-se notar a predominância de organismos maiores nessas regiões quando comparadas com a área fora da influência da pluma. Já o comportamento espectral de absorção de luz dos detritos, representado por S, mostrou-se menor na área fora da influência da pluma, indicando (segundo Bukata, 1995) uma maior participação de partículas orgânicas nessa região, ou seja, uma menor participação de sedimentos inorgânicos, como esperado. Ressaltamos, porém, que essa análise ainda inclui todas as estações de coleta realizadas em setembro, (Figura 2), e por isso a grande maioria dos pontos de coleta ainda encontra-se concentrada dentro de uma mesma categoria (fora da área de influência da pluma (F)); fato este que pode dificultar a análise dos dados, e

mascarar alguns resultados. Além disso, essa classificação não permite diferenciar os perfis mais ou menos próximos da Baía de Santos.

A fim de tentar reduzir o número de dados, restringindo-os para uma região mais próxima da costa, foram adotadas como critério para exclusão de pontos a profundidade local e a distância da costa. Através dos resultados obtidos para o cruzeiro de outubro, adotou-se a isóbata de 33 metros e a distância da costa de 34,46 quilômetros como limites para uma região mais logicamente sujeita a influência da pluma. Após essa restrição, os dados foram classificados, de acordo com sua distância da Baía de Santos (distância do ponto 0), em: (i) Região fora da influência da pluma da Baía de Santos - ao Norte (A); (ii) Zona passível à influência da pluma (B); e (iii) Região fora da influência da pluma da Baía de Santos – ao Sul (C). Para essa classificação adotou-se como limite máximo de distância da Baía de Santos a distância máxima encontrada para as estações classificadas dentro da área de influência da pluma ou na zona intermediária de mistura do cruzeiro de outubro, ou seja, 34,46 quilômetros.

Com a aplicação dessa restrição restaram 37 dados sobre a plataforma continental interna de todo o litoral paulista. Após essa classificação, os dados localizados dentro da zona passível à influência da pluma (B), foram novamente classificados em P (dentro da área de influência da pluma) ou F (fora da influência da pluma), de acordo com os valores de salinidade e da variação de salinidade por quilômetro de distância da costa (variações acima de 0,16 de salinidade por km); e os dados situados na região (F), foram excluídos da análise.

Os 26 dados restantes, pertencentes a 15 estações de coleta (Figura 6), sendo 6 classificados como (A), 13 como (B), e 7 como (C), foram comparados estatisticamente através de uma análise de variância para amostras com números de repetições diferentes (Tabela 4). Os resultados dessa análise indicam que os dados considerados dentro da zona passível à influência da pluma, em nada diferem (dentro dos 4 parâmetros analisados) daqueles situados mais ao norte; enquanto que a região classificada fora da área de influência da pluma ao sul, apresenta menores valores de magnitude de

absorção de luz, tanto dos detritos como do fitoplâncton, que apresenta também nessa região um comportamento espectral distinto, com predominância de organismos menores (maior valor de Sf).

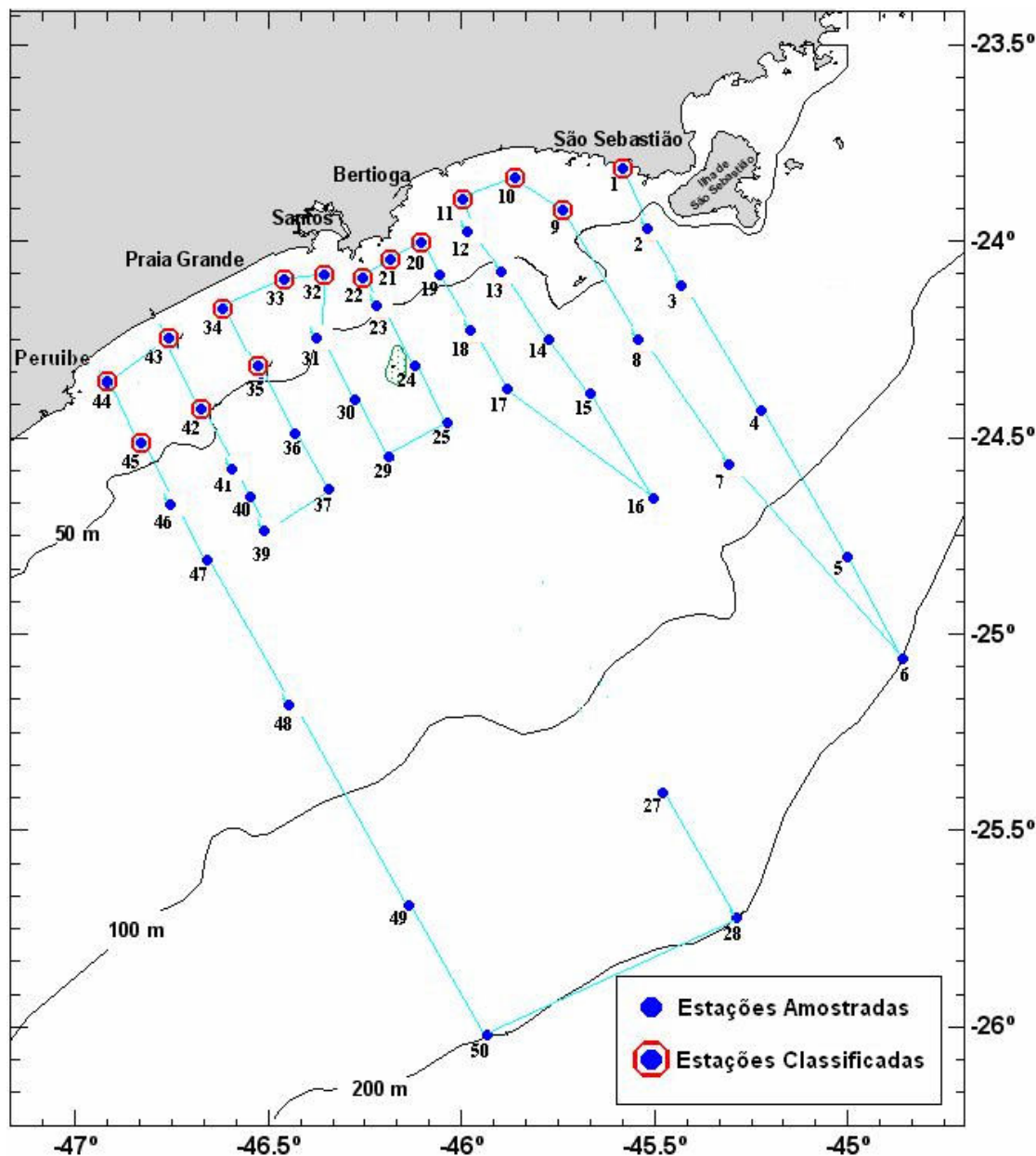


Figura 6 – Imagem representativa da região de estudo, com identificação das estações realizadas durante o cruzeiro de setembro de 2005. Estações separadas pela profundidade local, distância da costa e distância da Baía de Santos, e que foram utilizadas na classificação das regiões (A), (B) e (C), encontram-se destacadas circulas. Região A (fora da influência da pluma da Baía de Santos - ao Norte) = Estações 1; 9; 10 e 11. Região B (zona passível à influência da pluma) = Estações 20; 21; 22; 32; 33 e 34. Região C (fora da influência da pluma da Baía de Santos - ao Sul) = Estações 35; 42; 43; 44; 45.

Tabela 4: Comparação entre as 3 regiões finais classificadas para o cruzeiro de setembro. A = Região fora da influência da pluma da Baía de Santos - ao Norte. B = Zona passível à influência da pluma. C = Região fora da influência da pluma da Baía de Santos – ao Sul. Parâmetros: $\langle \text{aph} \rangle$ = magnitude de absorção do fitoplâncton (m^{-1}), ad_{443} = magnitude de absorção dos detritos (m^{-1}), Sf = comportamento espectral do fitoplâncton (adimensional), S = comportamento espectral dos detritos (nm^{-1}). Regiões com risco pontilhado representam que não houve diferença significativa constatada para o parâmetro. A diferença entre as 3 camadas foi testada estatisticamente através de uma análise de variância para amostras com números de repetições diferentes; quando constatada a diferença foi aplicado o teste de Tukey para a determinação de como e quais regiões diferiam entre si.

Diferença dos parâmetros de absorção de luz do material particulado entre as regiões (A), (B) e (C), classificadas para o cruzeiro de setembro de 2005. F crítico tabelado com alfa 0,05; 23 graus de liberdade no denominador e 2 no numerador igual a 3,42

parâmetro	A	B	C	diferença entre as regiões	F calculado
$\langle \text{aph} \rangle$	0,0466	0,0489	0,0184	A = B > C	32,55
ad_{443}	0,1393	0,1420	0,0531	A = B > C	7,39
Sf	0,2454	0,2540	0,3932	A = B < C	27,69
S	0,0121	0,0125	0,0121	-----	3,19

A semelhança encontrada nos parâmetros que descrevem a absorção de luz do material particulado, entre a zona passível à influência da pluma e a região norte da plataforma continental interna do litoral paulista, pode ser consequência da influência de uma corrente costeira fluindo para o norte, que ao passar pela região adjacente à Baía de Santos, sofre intensa mistura com as massas de água da pluma. Esse mecanismo de corrente é típico na região, principalmente nos meses de inverno com a predominância dos ventos de quadrante sul (Castro e Miranda, 1998). Além disso, a região recebe uma influência sazonal (mais relevante no inverno) de águas de origem continental da plataforma mais ao sul, sob a influência do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos (Piola *et al.* 2005). A massa de água resultante dessa mistura, enriquecida pelas águas da Baía de Santos é arrastada em direção ao norte, misturando-se com a água local. Esse resultado é igualmente constatado pela observação das salinidades superficiais, que sugerem um transporte para norte

através da plataforma continental interna. Todavia, a não sinopsidade da amostragem (i.e. o cruzeiro de Setembro levou cerca de uma semana para completar a rede de estações) nos permite apenas sugerir esse processo de enriquecimento.

Os valores médios de salinidade, temperatura e densidade (expressa como sigma t em g cm⁻³) da camada de mistura de cada uma das 3 regiões (Região fora da influência da pluma da Baía de Santos - ao Norte (A); Zona passível à influência da pluma (B); e Região fora da influência da pluma da Baía de Santos – ao Sul (C)), encontram-se apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Valores médios de densidade (sigma-t; kg/m³), temperatura (°C) e salinidade (ups), (obtidos através dos perfis do CTD), da camada de mistura de cada uma das 3 regiões classificadas para o cruzeiro de setembro. A = Região fora da influência da pluma da Baía de Santos - ao Norte. B = Zona passível à influência da pluma. C = Região fora da influência da pluma da Baía de Santos – ao Sul.

Características médias das regiões (A, B e C) classificadas para o cruzeiro de setembro05			
parâmetro	A	B	C
Densidade	22,79	21,94	22,36
Temperatura	20,47	20,51	20,75
Salinidade	32,55	31,44	32,08

O grau de mistura entre as massas de água, assim como a comparação entre as características de salinidade e temperatura presentes na região de estudo em cada cruzeiro, pode ser observado com um diagrama T-S (diagramas da temperatura como uma função da salinidade, Figura 7). No diagrama podemos observar a clara linha de mistura entre as águas costeiras e aquelas de origem tropical (acima de 36 de salinidade e 20 graus de temperatura, ver Silveira *et al.*, 2000), provavelmente provenientes da corrente do Brasil. É interessante observar que existe uma boa região de sobreposição entre as salinidades dos dois cruzeiros, mas que durante outubro, encontramos

valores mais elevados de temperatura, provavelmente resultado das águas amostradas mais próximas da costa em outubro. Águas costeiras apenas conseguem ser propriamente identificadas em ambientes onde existem informações suficientes para sua divisão por região ou épocas do ano (Tomczak, 2000). Nossos resultados indicam intensa mistura, entre as águas menos e mais salinas, que concordam com as tendências observadas de enriquecimento da região de plataforma adjacente à Baía de Santos.

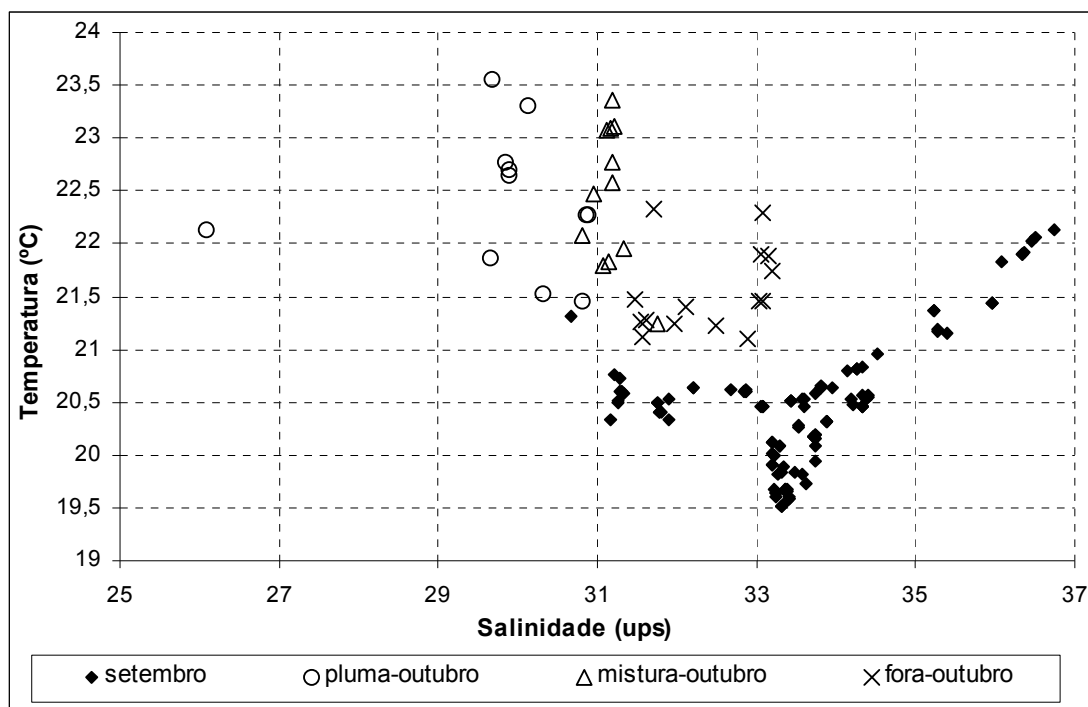


Figura 7 – Diagrama T-S ilustrando as características físico-químicas das massas de água presentes da região de estudo. Os dados do cruzeiro de outubro encontram-se divididos nas 3 regiões (área de influência da pluma; zona intermediária de mistura; e fora da pluma). Os dados do cruzeiro de setembro são referentes àqueles situados dentro da camada de mistura das 45 estações amostradas.

4 – Conclusões

O desenho amostral do cruzeiro de outubro, realizado com perfis radiais adjacentes à Baía de Santos, restrito a uma região mais próxima à saída desta baía, revelou-se adequado aos objetivos deste trabalho. Durante esse cruzeiro pudemos facilmente identificar e delimitar a área de influência da pluma da Baía de Santos sobre a plataforma continental interna adjacente, que se encontrou a uma distância aproximada de 10 a 20 quilômetros do ponto de referência escolhido no interior da baía. Ou seja, as águas com assinatura de pluma se restringem a uma região pequena da plataforma, confinada às proximidades da Baía de Santos. Nessas águas observamos magnitudes para as absorções de luz pelo fitoplâncton e pelos detritos significativamente maiores, e a predominância de organismos fitoplanctônicos maiores (sugeridos pelos valores significativamente menores do parâmetro Sf). Assim, os resultados sugerem que o impacto da pluma do complexo estuarino sobre o fitoplâncton (e sobre o material orgânico particulado em geral) na plataforma continental, nas proximidades da Baía de Santos, é predominantemente decorrente da exportação de material de origem estuarina, e de condições que favorecem a produção de material particulado no interior da pluma, mas seu efeito parece restrito a poucos quilômetros desta baía, a uma área que se estende sobre a plataforma continental adjacente até proximidades das isobatimétricas de 20 a 25 metros.

Os resultados do cruzeiro de setembro nos deram um panorama em maior escala espacial das massas de água presentes na camada de mistura da região de plataforma continental adjacente. O desenho amostral não permitiu uma visualização tão clara da pluma, mas possibilitou a constatação da forte mistura entre as massas de água, e dos processos de enriquecimento pelas águas da Baía de Santos. Nas condições meteorológicas e oceanográficas durante setembro de 2005, as massas de água enriquecidas alcançaram a porção mais ao norte da região amostrada.

Em conclusão, pudemos observar que, a quantificação de parâmetros bio-ópticos pode ilustrar processos produtivos na região de plataforma continental. Como esses parâmetros podem ser derivados de imagens de

satélite, esses resultados são encorajadores para o uso desses dados em programas de monitoramento ambiental com resolução espaço-temporal mais adequada a ambientes e processos dinâmicos.

5 – Referências

BABIN, M.; MOREL, A.; FOURNIER-SICRE, V.; FELL, F.; STRAMSKI, D. Light scattering properties of marine particles in coastal and open ocean waters as related to the particle mass concentration. **Limnology and Oceanography** 48: 843-859. 2003.

BRICAUD, A.; BABIN, M.; MOREL, A.; CLAUSTRE, H. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization. **Journal of Geophysical Research**. 100(C7): 13,321-13,332. 1995.

BRICAUD, A.; CLAUSTRE, H.; RAS, J.; OUBELKHEIR, K. Natural variability of phytoplanktonic absorption in oceanic waters: Influence of the size structure of algal populations. **Journal of Geophysical Research**. 109, C11010, doi: 10.1029/2004JC002419. 2004.

BRICAUD, A.; MOREL, A.; BABIN, M.; ALLALI, K.; CLAUSTRE, H. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll *a* concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models. **Journal of Geophysical Research**. 103(C13): 31033-31044. 1998.

BRICAUD, A.; MOREL, A.; PRIEUR, L. Absorption by dissolved organic matter of the sea (Yellow Substance) in the UV and visible domains. **Limnology and Oceanography**. 26: 43 – 53. 1981.

BUKATA, R.P.; JEROME, J.H.; KONDRATYEV, K.Y.; POZDNYAKOV, D.V. **Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters**. CRC Press, Boca Raton, 1995. 362 p.

CASTRO, B.M.; MIRANDA, L.B. Physical Oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S. In ROBINSON, A. R.; BRINK,

K.H. (Eds.). **The Sea** - volume 11. John Wiley & Sons, Inc. Chapter 8, 1998. p. 209-251.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Sistema estuarino de Santos e São Vicente. São Paulo, 2001. 178 p.

CIOTTI, A.M. **Influence of phytoplankton communities on relationships between optical properties of coastal surface waters**. 1999. Tese de Doutorado. Department of Oceanography, Dalhousie University, Halifax, N.S., Canada.

CIOTTI, A.M.; BRICAUD, A. Retrievals of a size parameter for phytoplankton and light absorption by Colored Detrital Matter from water-leaving radiances at SeaWiFS channels in a continental shelf region off Brazil. **Limnology and Oceanography: Methods** 4, 237–253. 2006.

CIOTTI, A.M.; GAETA, S.A. Measurements of CDOM and Phytoplankton Absorption Coefficients in situ and Comparisons Among Semi-Analytical Models Using Satellite Ocean Color Data. Ocean Optics XVI, Santa Fé, New Mexico, CDROM, artigo 167. 2002.

CIOTTI, A.M.; LEWIS, M.R.; CULLEN, J.J. Assessment of the relationships between dominant cell size in natural phytoplankton communities and the spectral shape of the absorption coefficient. **Limnology and Oceanography**. 47 (2), 404-417. 2002.

COBLE, P.G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. **Marine Chemistry**. 52: 325-346. 1996.

CULLEN, J.J.; FRANKS, P.J.S.; KARL, D.M.; LONGHURST, A. Physical influences on marine ecosystem dynamics. In: ROBINSON, A.R., MCCARTHY,

J.J., ROTHSCHILD, B.J. (Eds.), **The Sea**, vol. 12. Wiley, New York, 2002. p. 297–335.

DAGG, M.J.; BREED, G.A. Biological effects of Mississippi River nitrogen on the northern gulf of Mexico—a review and synthesis. **Journal of Marine Systems** 43: 133–152. 2003.

DAGG, M.J.; BENNER, R.; LOHRENZ, S.; LAWRENCE, D. Transformation of dissolved and particulate materials on continental shelves influenced by large rivers: plume processes. **Continental Shelf Research** 24: 833–858. 2004.

DAVIES, P. Nutrient processes and chlorophyll in the estuaries and plume of the Gulf of Papua. **Continental Shelf Research** 24: 2317–2341. 2004.

DE KOK, J.M.; DE VALK, C.; VAN KESTER, J.H.T.M.; DE GOEDE, E.; UITTENBOGAARD, R.E. Salinity and temperature stratification in the Rhine Plume. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 53: 467–475. 2001.

DEL CASTILLO, C.E., COBLE, P.G.; MORELL, J.M.; LÓPEZ, J.M.; CORREDOR, J.E. Analysis of the optical properties of the Orinoco River Plume by absorption and fluorescence spectroscopy. **Marine Chemistry**. 66: 35-51. 1999.

DEL CASTILLO, C.E.; GILBES, S.; COBLE, P.G.; MULLER-KARGER, F.E. On the dispersal of riverine colored dissolved organic matter over the West Florida Shelf. **Limnology and Oceanography**. 45(6): 1425–1432. 2000.

DICKEY, T. D. Emerging ocean observations for interdisciplinary data assimilation systems. **Journal of Marine Systems**. 40-41: 5 – 48. 2003.

DUYSENS, L.N.M. The flattening of the absorption spectrum of suspensions as compared to that of solutions. **Biochim. Biophys. Acta** 19:1-12. 1956.

EPPLEY, R.W.; WEILER, C.S. The dominance of nanoplankton as an indicator of marine pollution: A critique. **Oceanologic Acta** 2(2): 241-245. 1979.

GARVER, S.A.; SIEGEL, D.A. Variability in near-surface particulate absorption spectra: What can a satellite ocean color imager see? **Limnology and Oceanography**. 39(6): 1349-1367. 1994.

HU, C.; MONTGOMERY, E.T.; SCHMITT, R.W.; MULLER-KARGER, F.E. The dispersal of the Amazon and Orinoco River water in the tropical Atlantic and Caribbean Sea: Observation from space and S-PALACE floats. **Deep-Sea Research II** 51: 1151–1171. 2004.

IOCCG (2000). Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and Other Optically-Complex, Waters. SATHYENDRANATH, S. (ed.), Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 3, IOCCG, Dartmouth, Canada. 2000.

KIRK, J.T.O. **Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems**. Cambridge Univ. Press, New York, 1994. 509 pp.

KOURAFALOU, V. H.; OEY, L.-Y.; WANG, J. D.; LEE, T. N. The fate of river discharge on the continental shelf. 1. Modeling the river plume and the inner shelf coastal current. **Journal of Geophysical Research**. 10 C2: 3415-3434. 1996.

LOHRENZ, S.E.; FAHNENSTIEL, G.L.; REDALJE, D.G.; LANG, G.A.; DAGG, M.J.; WHITLEDGE, T.E.; DORTCH, Q. Nutrients, irradiance, and mixing as factors regulating primary production in coastal waters impacted by the Mississippi River plume. **Continental Shelf Research**. 19: 1113-1141. 1999.

MCCLELLAND, J. W.; VALIELA, I. Changes in food web structure under the influence of increased anthropogenic nitrogen inputs to estuaries. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 168: 259-271. 1998

MILLER, W.L. Recent advances in the photochemistry of natural dissolved organic matter. In: G. R. HELTZ (ed.). **Aquatic and Surface Photochemistry**. A. F. Lewis, New York, 1994. p. 111-127.

MOSER, G.A.O. **Aspectos da Eutrofização no sistema estuarino de Santos: distribuição espaço-temporal da biomassa e produtividade primária fitoplanctônica e transporte instantâneo de sal, clorofila-a, material em suspensão e nutrientes**. 2002. Dissertação (Doutorado) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MOSER, G.A.O.; SGAUD-KUTNER, T.C.S.; CATTENA, C.O.; GIANESELLA, S.M.F.; BRAGA, E.S.; SCHINKE, K.P.; AIDAR, E. Algal growth potential as an index of eutrophication degree in coastal areas under sewage disposal influence. **Aquatic Ecosystem Health and Management**. 7 (1):115-126. 2004.

NIXON, W. F. Quantifying the relationship between nitrogen input and the productivity of marine ecosystems. **Pro. Adv. Mar. Tech. Conf.** 5: 57-83. 1992.

PIOLA, A.R.; MATANO, R.P.; PALMA, E.D.; MOLLER, O.O.; CAMPOS, E.J.D. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. **Geophysical Research Letters**. 32 (1): Art. No. L01603. 2005.

PRITCHARD, M.; HUNTLEY, D.A. Instability and mixing in a small estuarine plume front. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 55: 275–285. 2002.

SILVEIRA, I.C.A.; SCHMIDT, A.C.K.; CAMPOS, E.J.D.; GODOI, S.S.; IKEDA, Y. A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**. 48(2). 2000.

SMITH JR., W.O., DEMASTER, D.J. Phytoplankton biomass and productivity in the Amazon River plume: correlation with seasonal river discharge. **Continental Shelf Research**. 16: 291-319. 1996.

TASSAN, S. AND FERRARI, G.M. An alternative approach to absorption measurements of aquatic plants retained on filters. **Limnology and Oceanography**. 40:1358-1368. 1995.

TASSAN, S. AND FERRARI, G.M. A sensitivity analysis of the "Transmittance–Reflectance" method for measuring light absorption by aquatic particles. **Journal of Plankton Research**. 24:757-774. 2002.

TASSAN, S., FERRARI, G.M.; BRICAUD, A. AND BABIN, M. Variability of the amplification factor of light absorption by filter-retained aquatic particles in the coastal environment. **Journal of Plankton Research**. 22(4): 659-668. 2000.

TOMCZAK, M. **Shelf and Coastal Oceanography**. Disponível em: <http://www.es.flinders.edu.au/~mattom/ShelfCoast/chapter10.html>. 2000.

YENTSCH, C.S.; PHINNEY, D.A. A bridge between ocean optics and microbial ecology. **Limnology and Oceanography**. 34(8): 1694-1705. 1989.