

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO OCEANOGRÁFICO

IOB 0135 - Sistema Pelágico

Relatório do Trabalho de Campo

UBATUBA (SP)

Grupo 3

Alexandre De Caroli	5653213
Carine de Godoi Rezende Costa	5653276
Carla Nishizaki	5653234
César Barbedo Rocha	5653105
Danilo Rodrigues Vieira	5653262
Gabriel Carvalhaes Aloí Paschoal	5653220
Juliana dos Santos Ribeiro	5653446
Mariana Ramos Aleixo de Souza	5653300
Natália Tasso Signorelli	5653363
Roberto Tomazini de Oliveira	5653450
Ronaldo Mitsuo Sato	5653404

São Paulo, outubro de 2009

Sumário

1	Introdução	p. 3
1.1	Área de Estudo	p. 3
1.2	Objetivos	p. 4
2	Materiais e métodos	p. 5
2.1	Amostragem	p. 5
2.2	Laboratório	p. 8
3	Resultados e discussão	p. 12
4	Considerações finais	p. 31
	Referências Bibliográficas	p. 32

1 *Introdução*

Há tempos que se aceita que a exportação de carbono da superfície para o fundo no oceano é canalizada através de afundamento passivo de fitoplâncton, pelotas fecais de zooplâncton e agregados de ambos, e que este carbono exportado suporta a demanda de carbono mesopelágico. Na última década diversos estudos mostraram que a migração vertical diária também contribui significativamente para o fluxo de carbono, através do consumo superficial e da excreção no fundo (KOBARI et al., 2008).

Portanto, é de extrema importância o estudo deste fluxo, através dos processos de sedimentação pelágica. Sendo assim, tem-se a motivação para a tentativa de estudo deste fluxo na Enseada do Flamengo (EF), Ubatuba, região que agrega diversos estudos biológicos e oceanográficos devido a presença da Base Norte de Ensino e Pesquisa Clarimundo de Jesus, do Instituto Oceanográfico da USP (IOUSP), e que, entretanto, não possui pesquisas específicas neste tema.

1.1 *Área de Estudo*

A Enseada das Palmas (Figura 2.4, pag. 11) localiza-se no litoral norte do estado de São Paulo, região esta onde a planície costeira é inexistente. O relevo emerso e a configuração topográfica do fundo evidenciam os afogamentos dos esporões terminais da Serra do Mar, resultantes dos últimos movimentos de caráter eustático sofridos pela costa (AB'SABER, 1955). Suas partes ocidental e oriental são formadas praticamente na sua totalidade por costões rochosos constituídos por matacões. Na parte sul há duas praias (a Grande, com 1000m e a do presídio, com 500m), e na parte leste duas menores (Praia do Engenho e Prainha, com 100m cada) (ABSHER, 1982).

Na Enseada das Palmas deságuam três cursos d'água perenes, os quais se localizam nos extremos oeste da Praia Grande e leste da Praia do Presídio, e entre a Praia do Engenho e a Prainha, e ainda alguns intermitentes que dependem da pluviosidade local.

A profundidade da enseada na sua entrada é de 10m, com aclive suave até as praias na parte sul. Segundo FUMEST (1974), os sedimentos de fundo são compostos, na parte mais profunda, por areia lodosa e cascalho de conchas, passando a areia fina ou grossa próximo às praias. No Boqueirão a profundidade atinge 35m, aproximadamente, formando uma depressão que se prolonga a leste, por mais de 1km (ABSHER, 1982).

1.1.1 Circulação

Não há estudos concretos sobre a circulação dentro da enseada, porém segundo (ABSHER, 1982), nessa região as correntes costeiras correm para sudoeste, entre novembro e março, com intensidade de 0,8 a 1,5 nós. No período de abril a julho, para NE com intensidade de 0,4 a 1 nó, e para oés-sudoeste, de agosto a outubro, com intensidade de 0,6 a 0,9 nós.

1.1.2 Condições Meteorológicas

Alguns estudos foram feitos em relação à meteorologia e o clima da região. Castro-Filho, Miranda e Miyao (1987), observaram grandes variações sazonais das propriedades termohalinas da plataforma continental adjacente à Ubatuba e constataram que, no verão, a ACAS (Água Central do Atlântico Sul—massa d'água fria e salina) avança sobre regiões mais internas da plataforma, pelo fundo, e que a AC (Água Costeira—massa d'água com origem costeira, quente e com baixa salinidade) é transportada para fora, pela superfície, formando uma termoclina marcante. Já no inverno, ocorre mistura da coluna d'água e desaparecimento da termoclina marcante. Através de alguns estudos, percebeu-se que este movimento da ACAS pode alcançar regiões costeiras, ocasionando assim uma maior disponibilidade de nutrientes nas regiões adjacentes.

Segundo Silva (1984), o clima da região pode ser considerado como úmido, em função de valores médios mensais de precipitação. Segundo Azevedo (2002), no verão, ocorre o predomínio do ar tropical prevalecendo frentes estacionárias e quentes. O relevo da Serra do Mar constitui um obstáculo para as frentes frias de baixo declive, comuns na primavera e verão, contribuindo para o predomínio das frentes estacionárias. Com o predomínio do ar tropical, úmido e instável, devido à elevada temperatura, ocorrem grandes evaporações, gerando precipitações intensas e contínuas. Nesta época, os ventos predominantes sopram do setor leste devido à constância das brisas marítimas na circulação geral. No inverno, os ventos prevaletentes sopram de oeste (oés-sudoeste a noroeste), associados às frequentes frentes frias que atingem a costa. Durante o inverno, ocorre o predomínio do ar de origem polar, relativamente seco e estável, o que resulta em bom tempo, maior insolação e menor pluviosidade em intensidade e frequência.

1.2 Objetivos

O presente trabalho visa caracterizar tanto qualitativamente quanto quantitativamente o fluxo geral de partículas para o fundo na coluna d'água, buscando caracterizar os processos existentes responsáveis pelo *input*, como também pelo consumo e conseqüente retirada desse material particulado descendente.

2 *Materiais e métodos*

Para atender o objetivo do presente trabalho, foi fundeada uma armadilha de sedimentos na Enseada das Palmas. Para validar as informações coletadas e também para uma melhor interpretação foram realizadas amostragens de plâncton, de água (para posterior contagem de partículas, clorofila e material em suspensão) e perfilagem vertical de partículas e de propriedades termohalinas. Toda a metodologia de amostragem e análise é descrita neste capítulo.

As amostragens e análises em laboratório foram realizadas durante as atividades de campo da disciplina IOB 0135 - Sistema Pelágico, realizadas de 1 a 4 de setembro de 2009, e complementadas nos laboratórios do IO/USP nas semanas decorrentes.

As atividades foram divididas entre os três grupos de alunos sendo que este (Grupo 3) ficou responsável pela coleta e análise dos dados referentes ao dia 3 de setembro de 2009

Os grupos foram ainda divididos em dois subgrupos, sendo que o Grupo 3 foi dividido da seguinte maneira:

- Grupo 3A
 - Carla Nishizaki
 - Danilo Rodrigues Vieira
 - Mariana Ramos Aleixo de Souza
 - Natália Tasso Signorelli
 - Roberto Tomazini de Oliveira
- Grupo 3B
 - César Barbedo Rocha
 - Carine de Godoi R. Costa
 - Gabriel Carvalhaes Aloi Paschoal
 - Juliana dos Santos Ribeiro
 - Ronaldo Mitsuo Sato

2.1 **Amostragem**

As amostragens foram realizadas num ponto localizado na Enseada das Palmas, Ilha Anchieta, Ubatuba, SP (Figura 2.4), a bordo do B/Pq. Véliger II. As atividades realizadas foram: perfilagem com LOPC (*Laser Optical Plankton Counter*), arrasto vertical para amostragem de plâncton, determinação da profundidade da camada fótica utilizando-se o disco de Secchi, coleta de água para material em suspensão, clorofila, abundância de partículas e contagem de bactérias e coleta de sedimento. Após essas atividades, foi fundeada a armadilha de sedimentos. Os procedimentos detalhados, bem como a metodologia dos demais parâmetros medidos, são descritos a seguir.

2.1.1 *Laser Optical Plankton Counter* (LOPC)

Funcionamento

O *Laser Optical Plankton Counter* (LOPC) é um contador óptico de partículas na água. É utilizado como um perfilador e possui um sensor de temperatura e de condutividade acoplado. O princípio básico de funcionamento do LOPC é a emissão de um feixe de laser. A contagem das partículas é feita com a interrupção, devido à passagem das partículas, desse feixe laser. O equipamento utilizado é capaz de medir partículas acima de 100 micrômetros, estimando assim um perfil de abundância de partículas ao longo da coluna d'água. As classes de tamanho utilizadas são 100–250, 251–350, 351–500, 501–1000, 1001–2000 micrômetros. A Figura 2.2(c) é uma foto do equipamento utilizado.

Amostragem

Foi lançado o LOPC, a fim de medir a densidade de partículas, temperatura e salinidade ao longo da coluna d'água (com 9,4m de profundidade), às 9h42min na estação localizada em 23° 31,532'S e 45° 45,173'W, com velocidade de descida de aproximadamente 1m/s.

2.1.2 Armadilha de sedimentos

Três armadilhas de sedimentos, com 11,5cm de diâmetro de boca cada, foram fundeadas na Enseada das Palmas (23°31,532'S e 45 04,224'W), acopladas a um *frame* (estrutura de proteção metálica) (Figura 2.1), numa profundidade de aproximadamente 7,5m, a dois metros acima do fundo (a profundidade local na hora do início do lançamento do fundeio era de 9,4m). A armadilha permaneceu fundeada por aproximadamente 2h40min (ela foi instalada às 9h36min e retirada às 12h58min). As amostras de cada armadilha foram acondicionadas em garrafas de plástico e completadas com água do mar filtrada até atingirem um volume de 800ml. De volta aos laboratórios, houve subamostragem para realização das atividades.

2.1.3 Disco de Secchi

Para se obter a profundidade da camada eufótica, realizamos medidas com disco de Secchi (Figura 2.2(b)) no momento das coletas.

Para conversão do valor de profundidade do disco de secchi para profundidade da camada eufótica, foi utilizado o procedimento proposto por (POOLE; ATKINS, 1929):

$$I_z = I_0 e^{-kz} \quad (2.1)$$

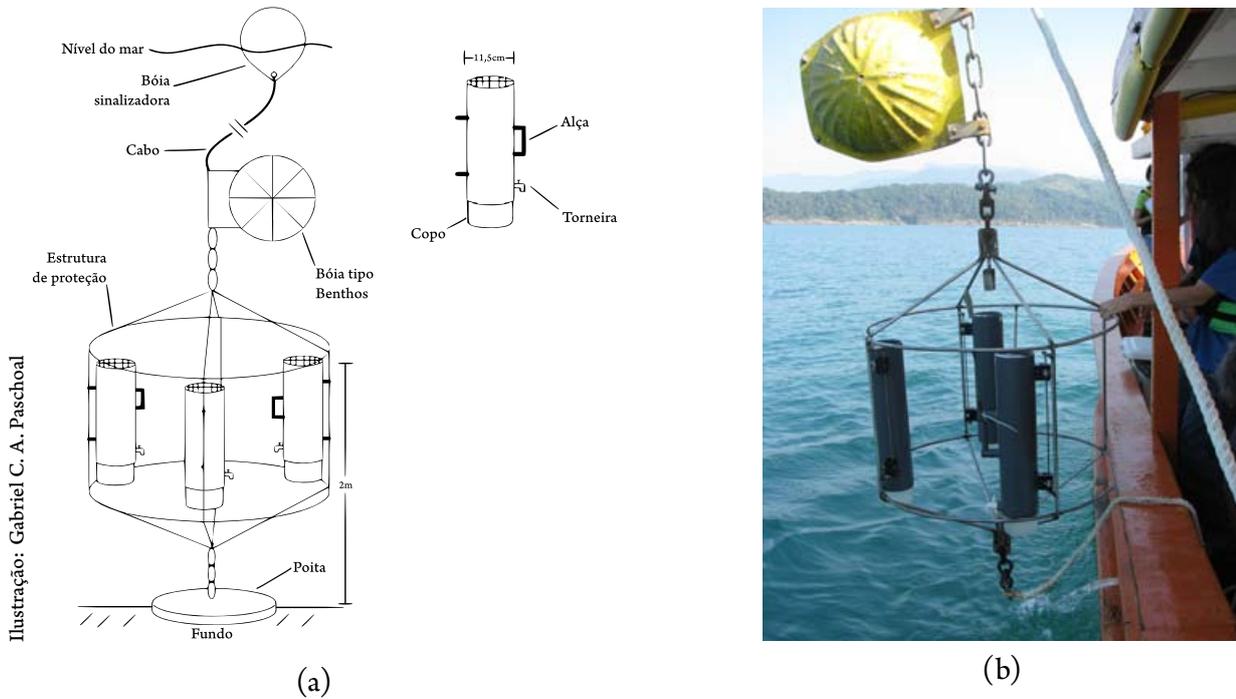


Figura 2.1: Esquema (a) e foto (b) da armadilha de sedimento.

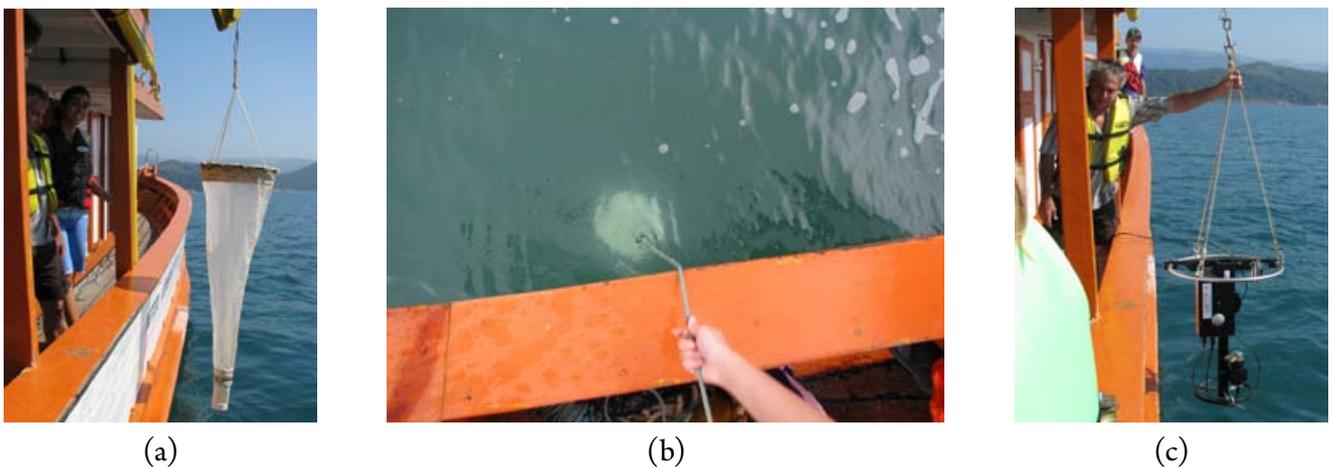


Figura 2.2: (a): Uma das redes utilizadas nos arrastos verticais. (b): Obtenção da camada fótica com disco de Secchi. (c): LOPC utilizado neste trabalho.

$$k = \frac{1.7}{Z_{sd}} \quad (2.2)$$

Onde I_0 é a radiância incidente na superfície; I_z é a radiância na profundidade z ; Z_{sd} é a profundidade do disco de Secchi e z é a profundidade.

Neste caso I_0 é 100% e I_z é 1%, já que o limite inferior da camada fótica é determinado pela profundidade em que a luz local representa apenas 1% da incidente na superfície. Desse modo, tem-se a equação:

$$Z_f = -\frac{\ln\left(\frac{1\%}{100\%}\right)}{k} = -\frac{\ln 100 \times Z_{sd}}{1,7} \quad (2.3)$$

Onde Z_f é profundidade da camada eufótica.

2.1.4 Coleta de água

Coletou-se água em três diferentes profundidades (0m, 5m e 8m). As amostras foram utilizadas para a determinação de clorofila e de material em suspensão, além da abundância de partículas (utilizando Coulter Counter e FlowCAM, descritos abaixo) e da contagem de bactérias. Foram coletados cerca de 11 litros de água em cada profundidade, utilizando-se garrafas de Niskin. As amostras foram armazenadas em três galões plásticos (um para cada profundidade), que foram subamostrados posteriormente em laboratório para as análises que serão detalhadas posteriormente.

2.1.5 Sedimento

Foram coletadas amostras superficiais de sedimentos utilizando-se um Pegador de Peterson Modificado. Essas amostras foram utilizadas para a análise de carbono orgânico e nitrogênio nos sedimentos, além da utilização para contagem de bactérias. Os sedimentos superficiais foram acondicionados em pequenas bandejas de metal.

2.1.6 Arrasto vertical

Os arrastos verticais foram feitos utilizando-se redes com 40cm de diâmetro da boca e 1,20m de comprimento, e malha de 15 μ m para coleta de fitoplâncton e de 150 μ m para coleta de pelotas fecais e outras partículas (Figura 2.2(a)). Os arrastos foram realizados aproximadamente do fundo (7,5m) até a superfície. O conteúdo retido nas redes foi armazenado em recipientes de plástico e fixados com solução aquosa de formaldeído 0,4% tamponado, no caso das amostras da rede de 15 μ m, e com solução aquosa de formaldeído 4% tamponado para a rede de 150 μ m.

2.2 Laboratório

Posteriormente às coletas na Enseada das Palmas, foram realizadas atividades no Laboratório Integrado de Processos Oceânicos (LIPO/IOUSP) em Ubatuba. Primeiramente as amostras foram sub-amostradas para a realização das diferentes atividades: estimativa de abundâncias de partículas (Coulter Counter), estimativa e classificação de partículas (FlowCAM), filtração (clorofila e material em suspensão), incubação e contagem de bactérias e análise qualitativa do zooplâncton. Tais atividades são descritas mais detalhadamente a seguir.

2.2.1 Coulter Counter

Foi utilizado o Coulter Counter da Beckman Coulter™ - Z2 Coulter Particle, Count and Size Analyser.

Foram analisadas partículas menores que 40 μ m (essa restrição foi feita mediante filtragem da amostra em rede de malha de 40 μ m). O equipamento foi calibrado para contagem de partículas com tamanhos 10–30 μ m e 3–10 μ m, em volumes entre 10 e 20ml de amostra homogeneizada.

2.2.2 FlowCAM

A FlowCAM é um equipamento utilizado para contagem e classificação de partículas numa amostra de água. Em sua análise, combina a citometria com microscopia, de maneira a obter um bom imageamento de cada partícula (Figura 2.3).

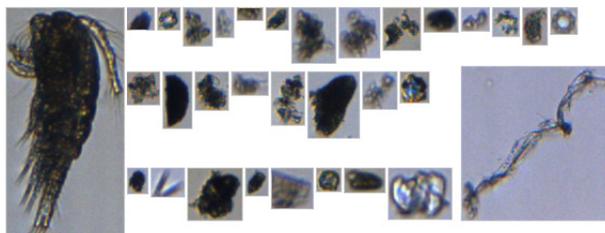


Figura 2.3: Algumas partículas imageadas pela FlowCAM.

A FlowCAM foi utilizada para analisar as amostras das armadilhas, sedimento e coluna d'água. Para isto foi utilizado um pequeno volume da amostra que foi lavado com água para eliminação do formol (no caso das amostras coletadas pelas redes) e também foi diluído e passado primeiramente por um filtro de 300 μm e o filtrado passado em um filtro de 40 μm , e o retido nesta analisado na FlowCAM já que o equipamento realiza medições de partículas entre 40 e 300 μm .

Com o auxílio de uma pipeta a amostra foi então adicionada na FlowCAM. Para a análise da FlowCAM foi utilizado o modo *auto-image*. Este modo captura imagens de partículas em um tempo pré-determinado. A amostra que saiu do equipamento foi descartada.

A classificação é feita com base em uma biblioteca criada e é feita por comparação de tamanho das partículas. A classificação e organização desses dados foi feita no Laboratório de Modelagem de Processos Oceânicos (LaMPO/IOUSP). As partículas foram classificadas em pelotas fecais (amórficas e cilíndricas), fitoplâncton, zooplâncton, partículas em decomposição, sedimento e outros.

2.2.3 Filtração

As amostras de água foram sub-amostradas em laboratório para as análises de clorofila e material em suspensão realizados no LIPO e suas análises são descritas a seguir.

Clorofila

A submostra separada para análise de clorofila foi de 1l. A filtração foi feita utilizando kit equipamento de filtração a vácuo, com bomba de sucção, utilizando filtro tipo GF/C em sala escura. O filtro foi devidamente dobrado e armazenado no freezer.

Para a maceração, colocou-se o filtro dentro do tubo de ensaio e acrescentou-se, em 2 alíquotas, 12ml de acetona 90%. A amostra foi macerada com um bastão de plástico. Os tubos foram mantidos ao abrigo da luz e sob refrigeração, durante 24h.

Após este período utilizou-se a centrífuga, durante 15 minutos, para a decantação do material particulado. O

sobrenadante foi transferido para uma cubeta de comprimento ótico igual a 5cm. Realizou-se a leitura dos brancos num espectrofotômetro nos comprimentos 750, 664, 647 e 630 nm, correspondentes aos máximos de absorção do pigmento. Em seguida realizou-se a leitura das amostras, seguindo os mesmos procedimentos da leitura dos brancos. A Equação 2.4 foi utilizada para calcular a concentração de clorofila.

$$Cla = \frac{(11,85A_{664} \times 1,54A_{647} \times 0,08A_{630}) \times V_a}{V \times C_o} \quad (2.4)$$

onde V_a é o volume de acetona adicionado, V é o volume de água filtrada e C_o é o comprimento ótico da cubeta e A_{xxx} é a absorbância nos comprimentos de onda 664, 647 e 630nm, respectivamente (HOLM-HANSEN et al., 1965).

Material em suspensão

Para análise de material em suspensão foi feita filtração a vácuo com filtro tipo GFA. O volume filtrado foi variado, devido a colmatação dos filtros.

Em laboratório no IO/USP, os filtros foram secos em estufa e pesados. A diferença entre o peso antes e depois da filtração representa o peso de material em suspensão.

2.2.4 Microbiologia (bactérias)

Devido à importância das bactérias em todo o processo do ciclo do carbono no ambiente marinho, realizou-se um exercício a fim de apresentar uma metodologia de estimativa da comunidade bacteriana na coluna d'água e no sedimento. Como o Grupo 3 foi o primeiro a desenvolver essa atividade, a amostra de coluna d'água analisada foi coletada do dia anterior ao início das atividades de campo, em localidade desconhecida. A amostra de água foi diluída duas vezes com água do mar filtrada, com o objetivo de diminuir a concentração de bactérias para tornar viável a posterior contagem de colônias. Após esse procedimento, utilizou-se o método de semeadura por plaqueamento, pingando uma alíquota da diluição em placas de petri preenchidas com ágar marinho e espalhando o pequeno volume em toda a placa, utilizando bastões devidamente esterilizados. Todo o procedimento foi realizado próximo ao bico de bunsen aceso para evitar possíveis contaminações. As amostras foram incubadas por, no mínimo, 24 horas antes da contagem das unidades formadoras de colônias. Outra metodologia utilizada para estimar a comunidade bacteriana foi a contagem por DAP. Resumidamente, essa metodologia se baseia na coloração por DAPI (4'6' - diamilino - 2 - phenylindole hydrochloride), um intercalante de DNA, fotosensível, que emite fluorescência azul quando excitado por radiação ultra-violeta, permitindo a visualização da estrutura celular de uma dada amostra. As amostras coradas são então analisadas num microscópio óptico que emite radiação UV. É importante ressaltar que o primeiro método (incubação em ágar marinho) permite contar apenas bactérias vivas que conseguiram crescer e formar colônias, enquanto que o método DAP permite contar tanto células vivas como mortas.

2.2.5 Análise qualitativa da comunidade planctônica

A amostra do arrasto vertical foi coletada visando a análise qualitativa de zooplâncton em laboratório, utilizando-se estereomicroscópios, com o objetivo de verificar o grupo dominante na coluna d'água e, eventualmente, validar a classificação feita pela FlowCAM.

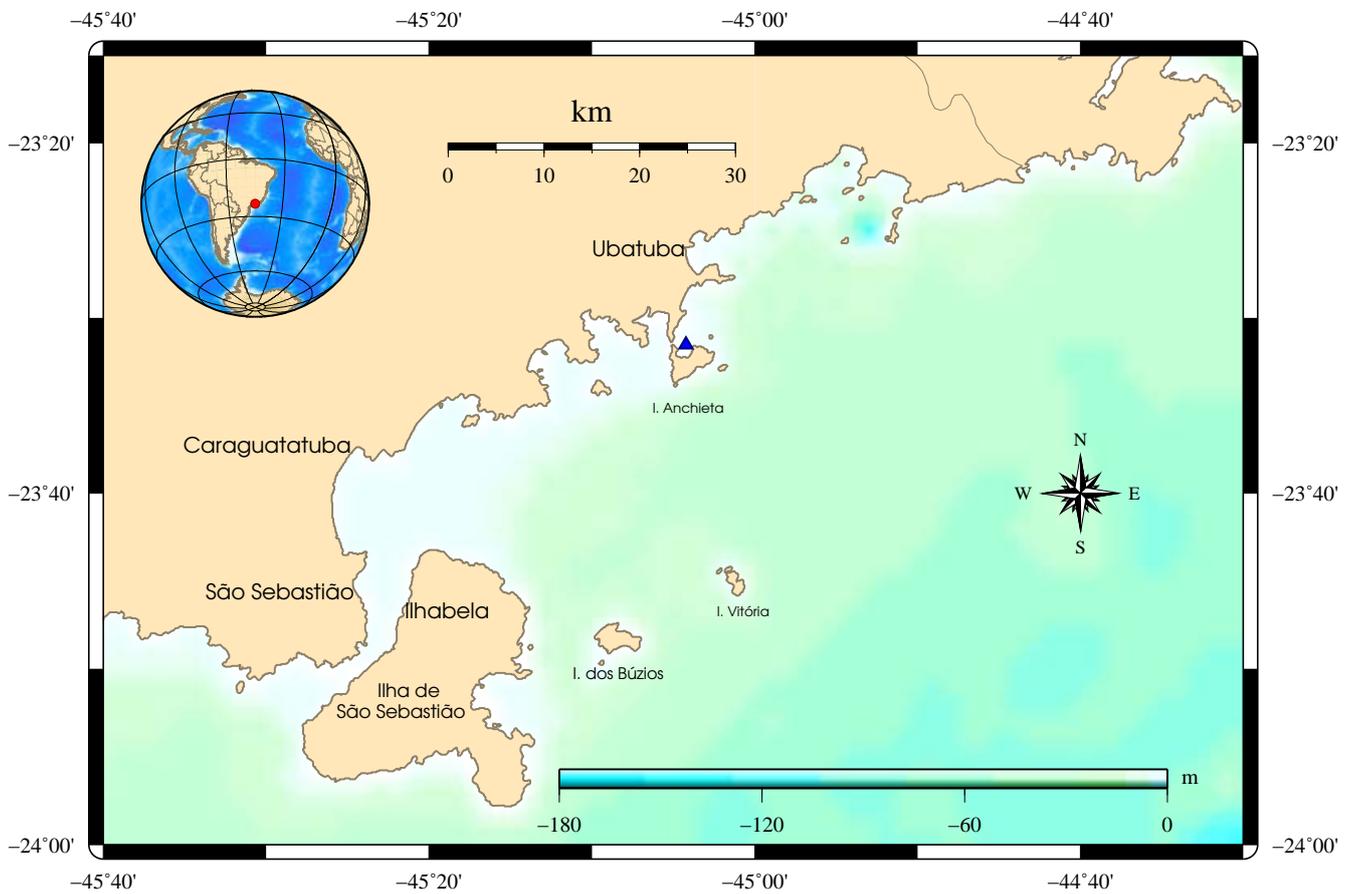


Figura 2.4: Mapa do litoral norte de São Paulo, mostrando o local das coletas.

3 *Resultados e discussão*

As contagens realizadas com Coulter Counter apresentam-se nas Tabelas 3.1 e 3.2, e nas Figuras 3.1 e 3.2.

Nas Tabelas 3.1 e 3.2, em todas as réplicas, percebe-se a grande abundância de partículas menores em relação às maiores no ambiente. As partículas menores são, em número, cerca de 20 vezes mais abundantes do que as partículas maiores. A taxa de afundamento das partículas menores, tanto em relação à coluna d'água (Tabela 3.1) quanto em relação à área do fundo (Tabela 3.2), também é muito superior se comparada à taxa de afundamento das partículas maiores.

Apesar da rede de arrasto utilizada ser de 15 μ m, houve predominância de partículas entre 2,9 e 10,2 μ m. Isso pode ter ocorrido devido à colmatação da rede e, assim, a captura de partículas menores que a malha da rede. Outras explicações possíveis seriam: desagregação das partículas em frações menores, associação de partículas menores a partículas maiores e posterior separação das mesmas.

Nas Imagens 3.1 e 3.2, vê-se que 90% das partículas apresentaram uma distribuição de tamanho na faixa de 2,9 a aproximadamente 7 μ m, nas três réplicas das amostras da armadilha de sedimento na contagem entre os tamanhos 2,9 e 10,2 μ m, Considerando a contagem entre os tamanhos 9,8 a 31,5 μ m, ainda nas amostras da armadilha de sedimento, 90% das partículas apresentaram uma distribuição de tamanho na faixa de 9,8 a aproximadamente 17 μ m, nas três réplicas.

Considerando as amostras do arrasto vertical na contagem entre os tamanhos 2,9 e 10,2 μ m, 90% das partículas apresentaram uma distribuição de tamanho na faixa de 2,9 a aproximadamente 6 μ m, nas duas réplicas. Considerando a contagem entre os tamanhos 9,8 a 31,5 μ m, ainda nas amostras do arrasto vertical, 90% das partículas apresentaram uma distribuição de tamanho na faixa de 9,8 a aproximadamente 25 μ m, nas duas réplicas.

Tabela 3.1: Coulter Counter: concentração das partículas em suspensão na coluna d'água coletadas durante o arrasto vertical (rede 15 μm), por classe de tamanho. R1 e R2 são as réplicas.

	Partículas (5ml ⁻¹)	Partículas (10 ⁵ m ⁻³ ·h ⁻¹)
2,9 e 10,2 μm (R1)	36538	7,75
2,9 e 10,2 μm (R2)	33604	7,14
9,8 a 31,5 μm (R2)	1790	0,34
9,8 a 31,5 μm (R1)	1632	0,35

Tabela 3.2: Coulter Counter: concentração das partículas que atingem o fundo calculada através das coletas por armadilhas. R1, R2 e R3 são as réplicas.

	Partículas (5ml ⁻¹)	Partículas (10 ⁷ m ⁻² ·h ⁻¹)
2,9 e 10,2 μm (R2)	59628	3,83
2,9 e 10,2 μm (R3)	54974	3,52
2,9 e 10,2 μm (R1)	54746	3,51
9,8 a 31,5 μm (R2)	3478	0,22
9,8 a 31,5 μm (R3)	3048	0,19
9,8 a 31,5 μm (R1)	3006	0,20

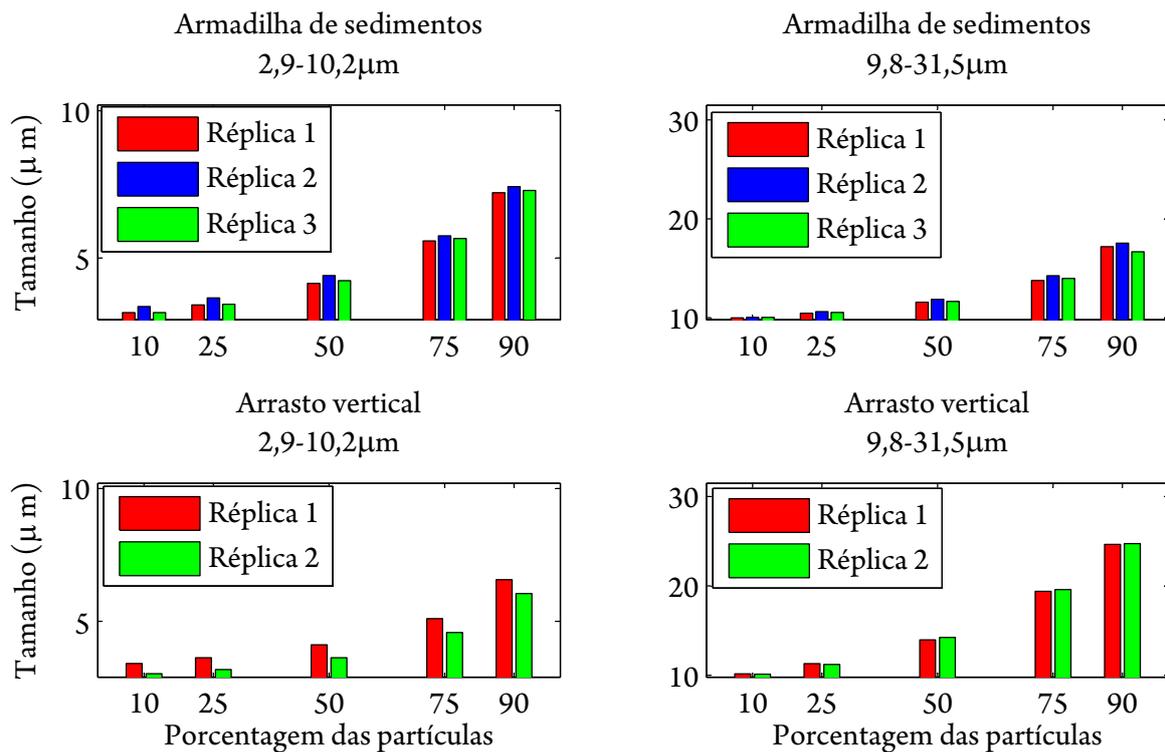


Figura 3.1: Coulter Counter.

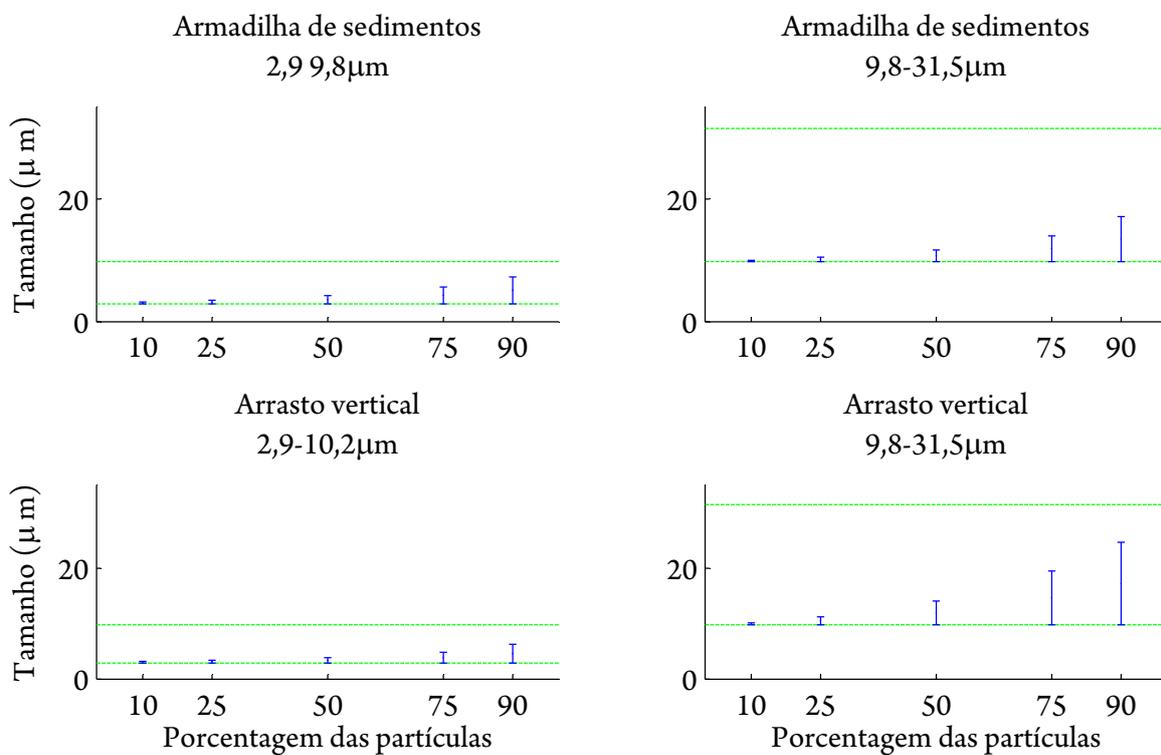
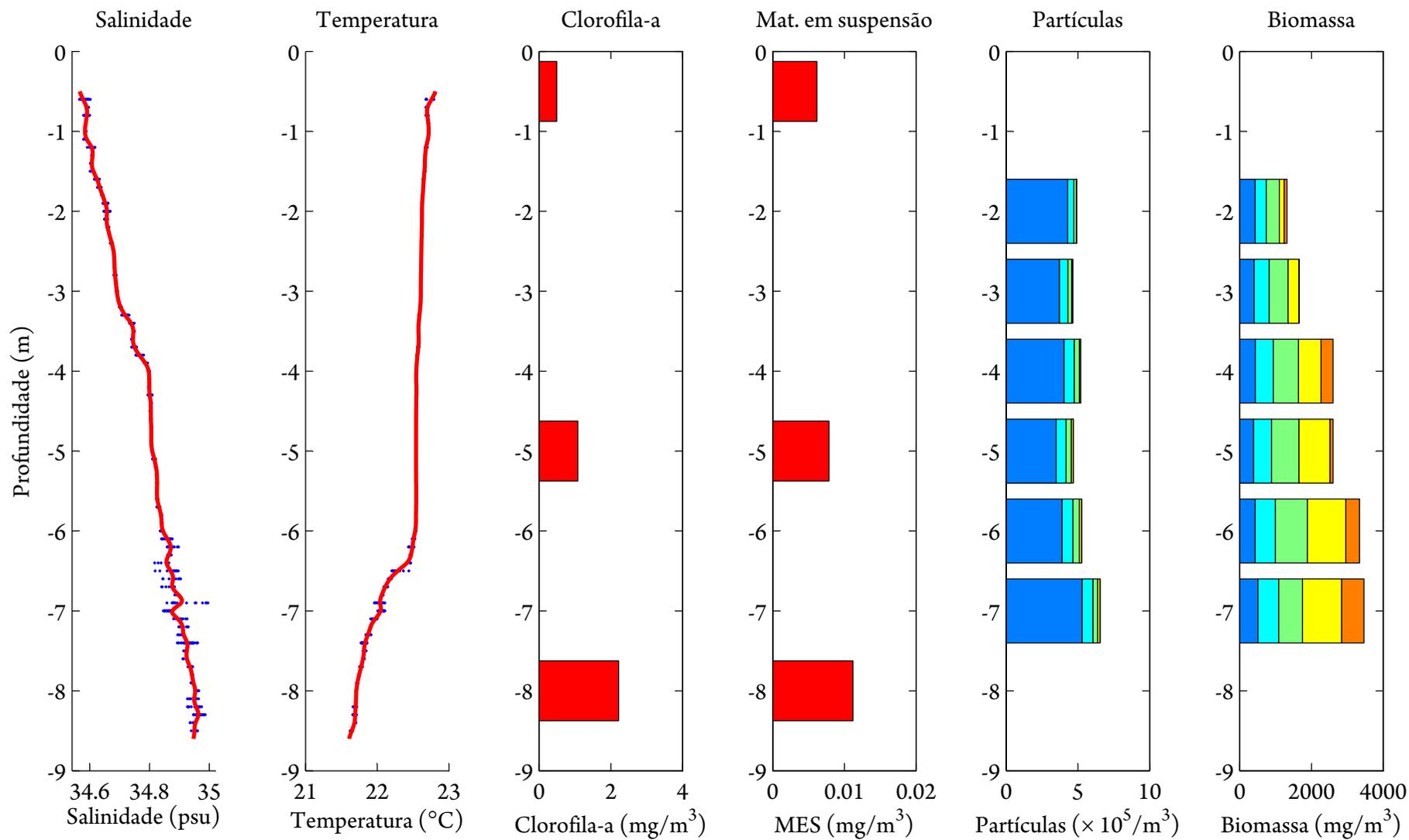


Figura 3.2: Coulter Counter (média entre réplicas). As linhas horizontais indicam os limites.



Classes de tamanho de partículas

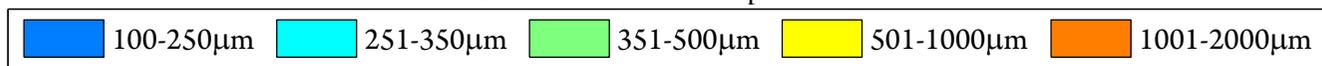


Figura 3.3: Temperatura, salinidade, clorofila-a, material em suspensão, número de partículas e biomassa. Dados obtidos com o LOPC.

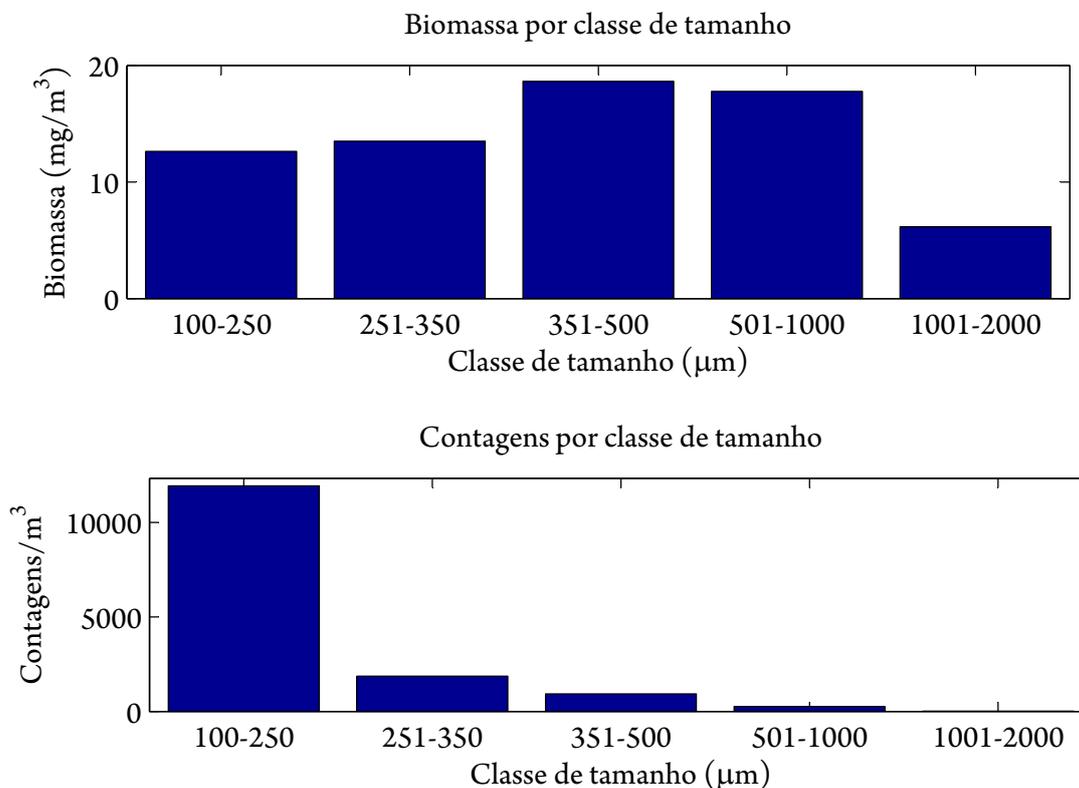


Figura 3.4: Contagem de partículas e biomassa por classe de tamanho obtidas pelo LOPC.

Os resultados obtidos com o LOPC (Figura 3.3) revelaram que a biomassa dominante na coluna d'água pertence a partículas entre 351 e 1000 micrômetros ($\sim 20\text{mg}/\text{m}^3$), seguida de partículas entre 100 e 350 micrômetros ($\sim 10\text{mg}/\text{m}^3$) e, por último, partículas entre 1001 e 2000 micrômetros ($\sim 5\text{mg}/\text{m}^3$). Já a contagem do número de partículas revelou um predomínio de partículas entre 100 e 250 micrômetros (mais de 10000 contagens) e uma quantidade muito pequena de partículas maiores. Dessa forma, pode-se observar que apesar das partículas com tamanhos entre 351 e 1000 micrômetros serem minoria, estas possuem as maiores biomassas registradas na coluna d'água.

Apesar do perfil de salinidade (Figura 3.3) revelar um aumento gradativo desta propriedade com a profundidade, a pequena mudança de salinidade da superfície para o fundo (cerca de 0,3) sugere que a coluna d'água estava homogênea no período da coleta dos dados. Já o perfil de temperatura revela uma coluna homogênea até $\sim 6\text{m}$ de profundidade, a partir de onde a temperatura começa a declinar até ficar cerca de $1,5^\circ\text{C}$ mais fria no fundo do que na superfície.

De forma geral, a concentração de clorofila, material em suspensão (MES) e número e biomassa de partículas aumentam conforme aumenta a profundidade. Este fato sugere que os organismos fotossintetizantes estavam concentrados em profundidades em torno de 7 e 8m, visto que nesta profundidade todos os parâmetros citados apresentam seus valores máximos (Figura 3.3). Além disso, a camada eufótica, que abrange toda a coluna d'água, revela que é possível a sobrevivência destes organismos nesta camada.

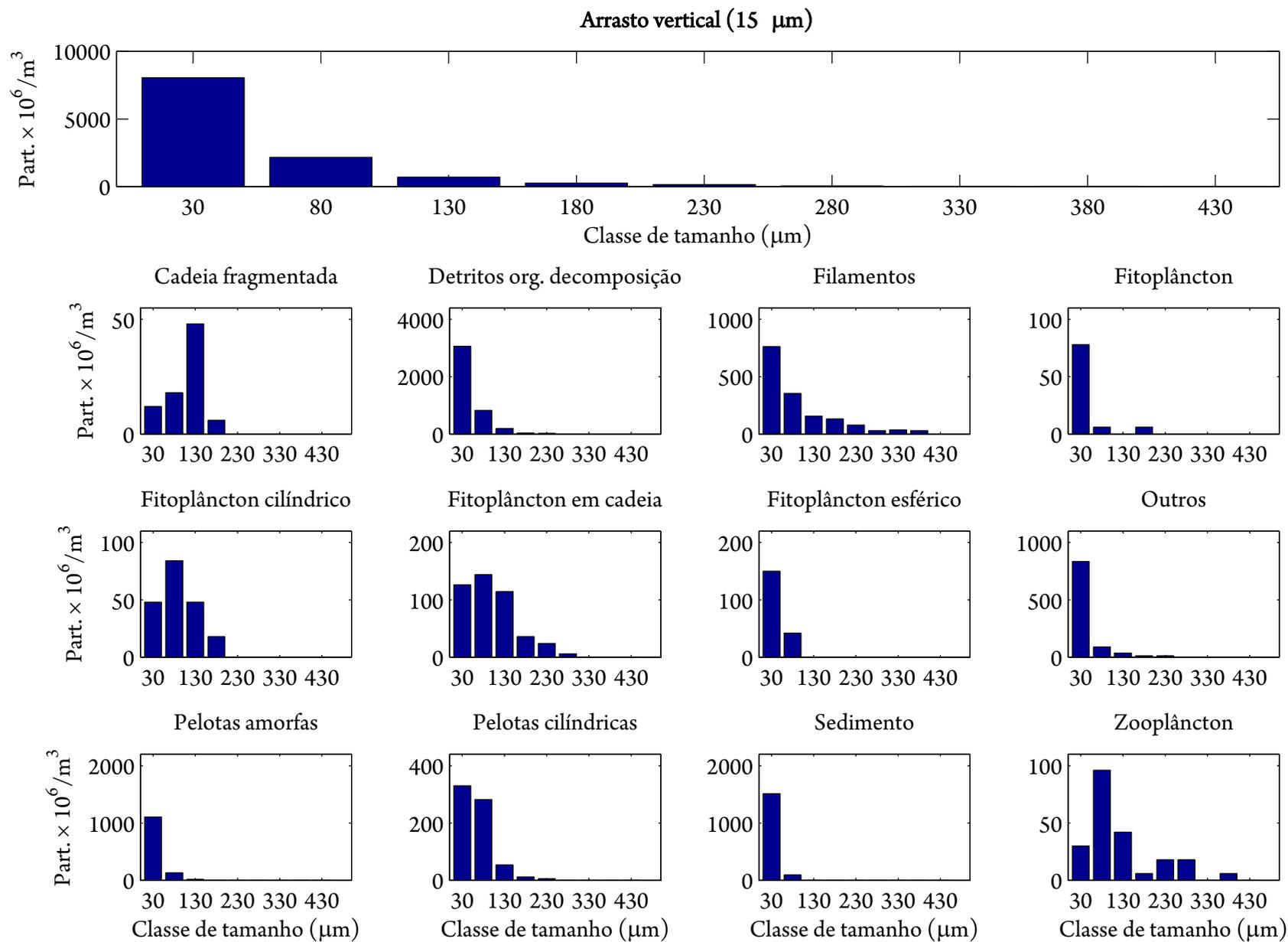


Figura 3.5: Divisão das partículas do arrasto vertical em classes de tamanho, como obtido pelo FlowCAM.

Tabela 3.3: Análise estatística dos dados do arrasto vertical (rede 15µm) por classe e propriedade.

	Área (ABD)	Volume (ABD)	Volume (ESD)	Razão de aspecto
Sedimento				
soma	280356,63 7,45×10 ⁶	1,45×10 ⁷	181,63	
média	1050,02	2,79×10 ⁴	5,43×10 ⁴	0,68
desvio-padrão	528,97	2,13×10 ⁴	4,34×10 ⁴	1,42×10 ⁻¹
Detritos orgânicos em decomposição				
soma	1094774,57	4,09×10 ⁷	1,15×10 ⁸	421,58
média	1591,24	5,95×10 ⁴	1,67×10 ⁵	0,61
desvio-padrão	1392,11	8,48×10 ⁴	3,66×10 ⁶	0,16
Pelotas amorfas				
soma	333837,04	1,16×10 ⁷	1,76×10 ⁷	143,87
média	1597,31	5,53×10 ⁴	8,43×10 ⁴	0,69
desvio-padrão	1093,45	6,42×10 ⁴	1,07×10 ⁵	0,14
Filamentos				
soma	248425,29	8,53×10 ⁶	2,35×10 ⁸	40,98
média	937,45	3,22×10 ⁴	8,88×10 ⁵	0,15
desvio-padrão	1204,28	6,67×10 ⁴	2,12×10 ⁶	0,09
Pelotas cilíndricas				
soma	225118,22	8,48×10 ⁶	2,39×10 ⁷	44,32
média	1974,72	7,44×10 ⁴	2,10×10 ⁵	0,39
desvio-padrão	1176,23	6,60×10 ⁴	3,13×10 ⁵	0,13
Fito cadeia				
soma	174321,31	7,48×10 ⁶	5,81×10 ⁷	35,03
média	2355,69	101014,59	785481,08	0,47
desvio-padrão	1701,3	111085,44	1231726,95	0,2
Zooplâncton				
soma	140046,06	7,23×10 ⁶	6,15×10 ⁷	18,07
média	3890,17	200816,67	1708333,33	0,5
desvio-padrão	2127,49	151652,47	2739728,08	0,25
Outros				
soma	123118,7	3,40×10 ⁶	2,04×10 ⁷	74,89
média	755,33	20862,64	124931,9	0,46
desvio-padrão	851,04	48515,02	358645,89	0,19
Fito esférico				
soma	71789,98	3,09×10 ⁶	4,21×10 ⁶	27,08
média	2315,81	99783,87	135693,55	0,87
desvio padrão	1774,39	112427,5	141393,07	0,1
Fito cilíndrico				
soma	56918,12	2,06×10 ⁶	1,29×10 ⁷	8,98
média	1778,69	64307,81	404237,5	0,28
desvio-padrão	1149,01	58704,67	446702,79	0,13

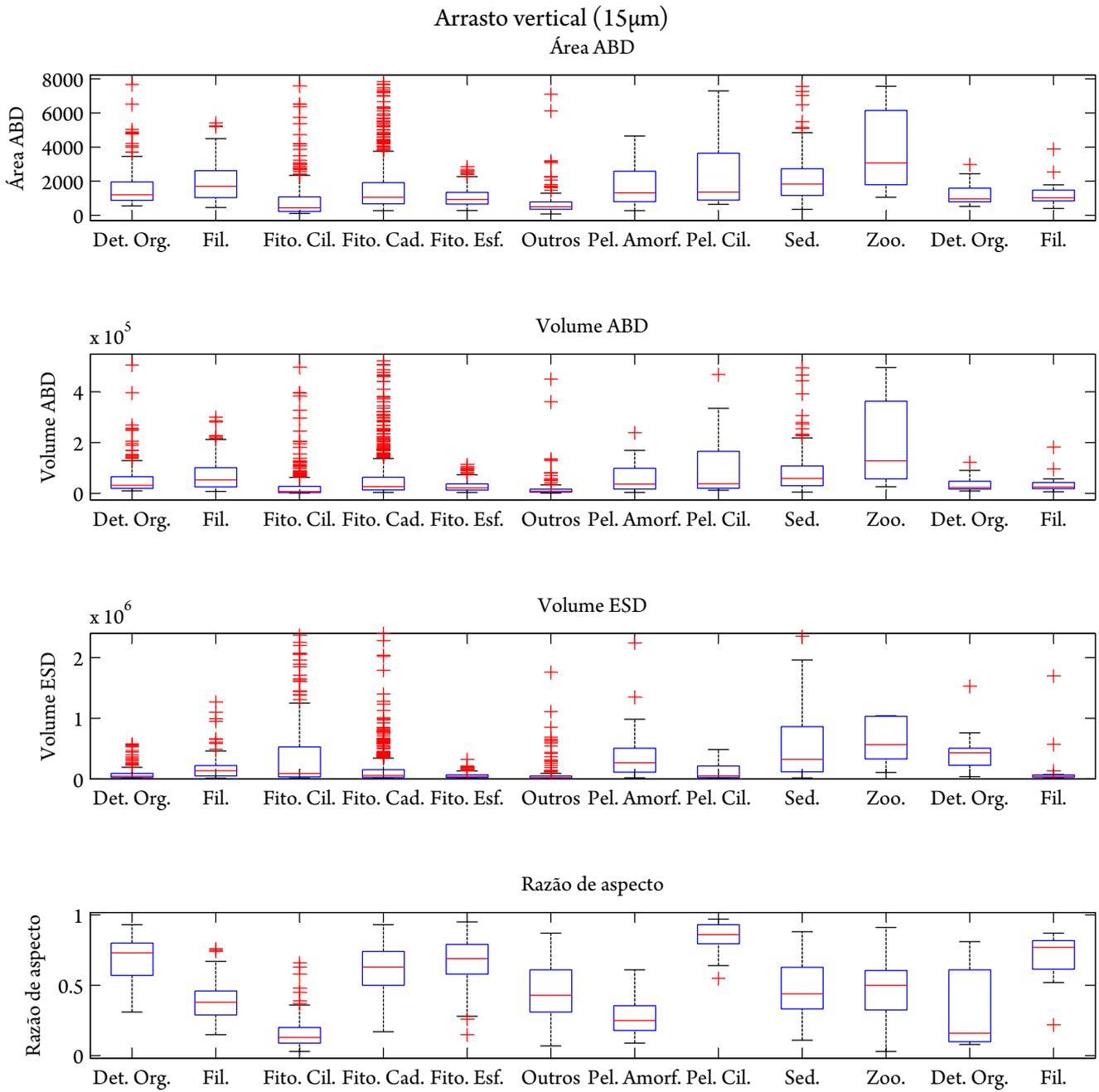


Figura 3.6: Boxplot das propriedades selecionadas do arrasto vertical, como obtido pelo FlowCAM.

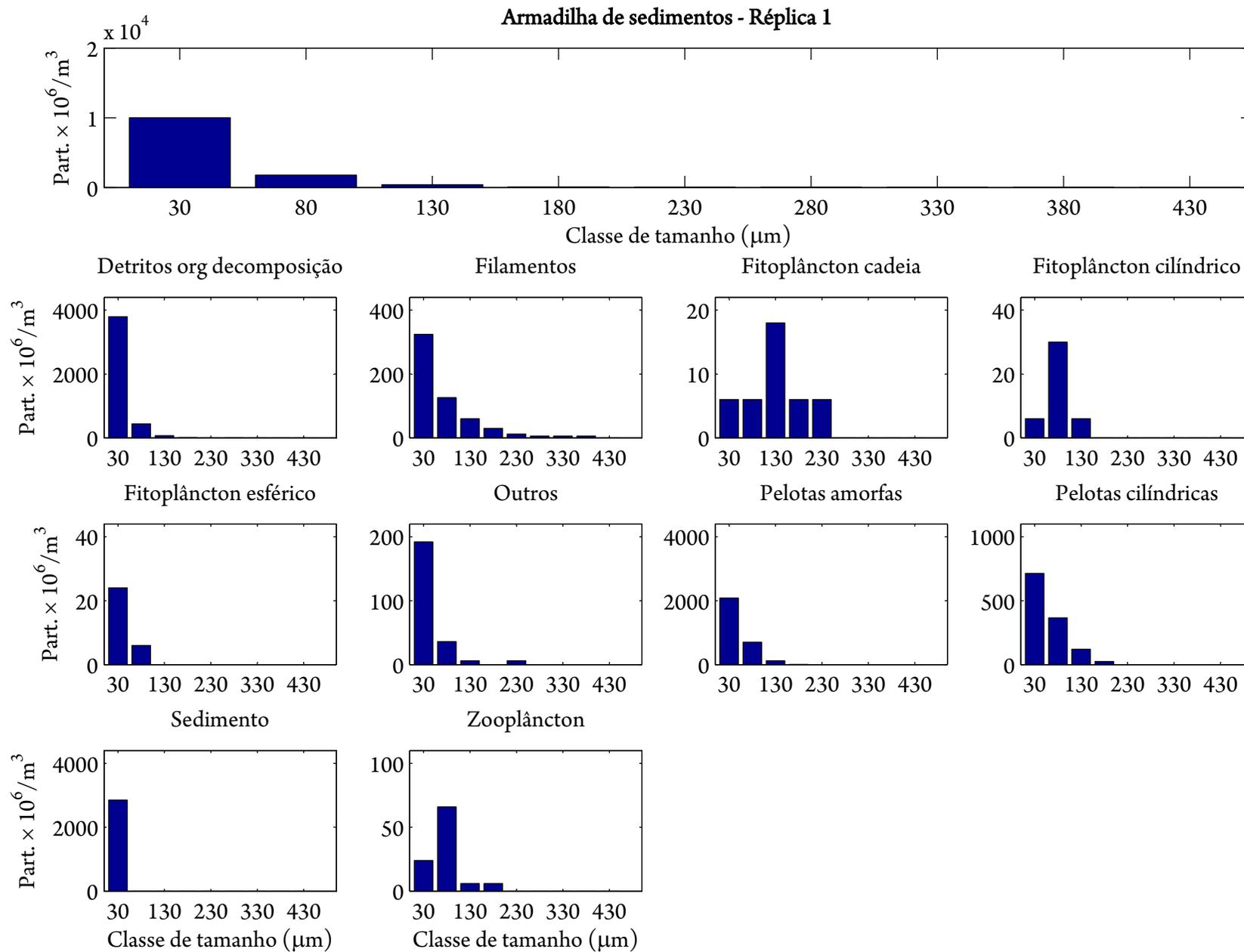


Figura 3.7: Divisão das partículas da armadilha de sedimentos (réplica 1) em classes de tamanho, como obtido pelo FlowCAM.

Tabela 3.4: Análise estatística da armadilha de sedimentos (réplica 1) por classe e propriedade.

	Area (ABD)	Volume (ABD)	Volume (ESD)	Razão de aspecto
Pelotas amorfas				
soma	1047424,54	$4,20 \times 10^7$	$7,44 \times 10^7$	21870,21
média	2159,64	$8,66 \times 10^4$	$1,53 \times 10^5$	45,09
desvio-padrão	1416,66	90034,14	189558,3	14,79
Detritos orgânicos em decomposição				
soma	819592,64	$2,51 \times 10^7$	$7,38 \times 10^7$	63884,41
média	1133,6	$3,48 \times 10^4$	$1,02 \times 10^5$	88,36
desvio-padrão	943,51	52233,89	329063,2	1480,48
Pelotas cilíndricas				
soma	467389,22	$1,99 \times 10^7$	$4,13 \times 10^7$	7772,15
média	2291,12	$9,77 \times 10^4$	$2,03 \times 10^5$	38,1
desvio-padrão	1669,37	106383,58	278012,72	15,29
Sedimento				
soma	292069,96	$5,67 \times 10^6$	$1,07 \times 10^7$	12635,75
média	613,59	$1,19 \times 10^4$	$2,26 \times 10^4$	26,55
desvio-padrão	211,35	6903,51	12068,57	5,68
Filamentos				
soma	131016	$5,09 \times 10^6$	$4,47 \times 10^7$	2069,6
média	1379,12	$5,36 \times 10^4$	$4,71 \times 10^5$	21,79
desvio-padrão	1522,4	86017,68	1227103,47	16,13
Outros				
soma	45150,45	$1,48 \times 10^6$	$7,53 \times 10^6$	1041,87
média	1128,76	$3,71 \times 10^4$	$1,88 \times 10^5$	26,05
desvio-padrão	1163,87	71373,71	669755,85	23,28
Zooplâncton				
soma	42430,89	$1,93 \times 10^6$	$5,86 \times 10^6$	776,55
média	2495,93	$1,13 \times 10^5$	$3,45 \times 10^5$	45,68
desvio-padrão	1990,8	133231,86	360017,54	23,52
Fito cadeia				
soma	23925,97	$1,22 \times 10^6$	$7,51 \times 10^6$	444,79
média	3418	$1,74 \times 10^5$	$1,07 \times 10^6$	63,54
desvio-padrão	2371,28	163852,87	1013468,18	28,97
Fito esférico				
soma	22913,3	$8,57 \times 10^5$	$2,36 \times 10^6$	454,65
média	1909,44	$7,14 \times 10^4$	$1,97 \times 10^5$	37,89
desvio-padrão	1240,09	68629,81	201740,27	17,17
Fito cilíndrico				
soma	$1,12 \times 10^4$	363100	1699700	194,06
média	1609,8	51871	242814	27,72
desvio-padrão	745,48	34199	245182	11,82

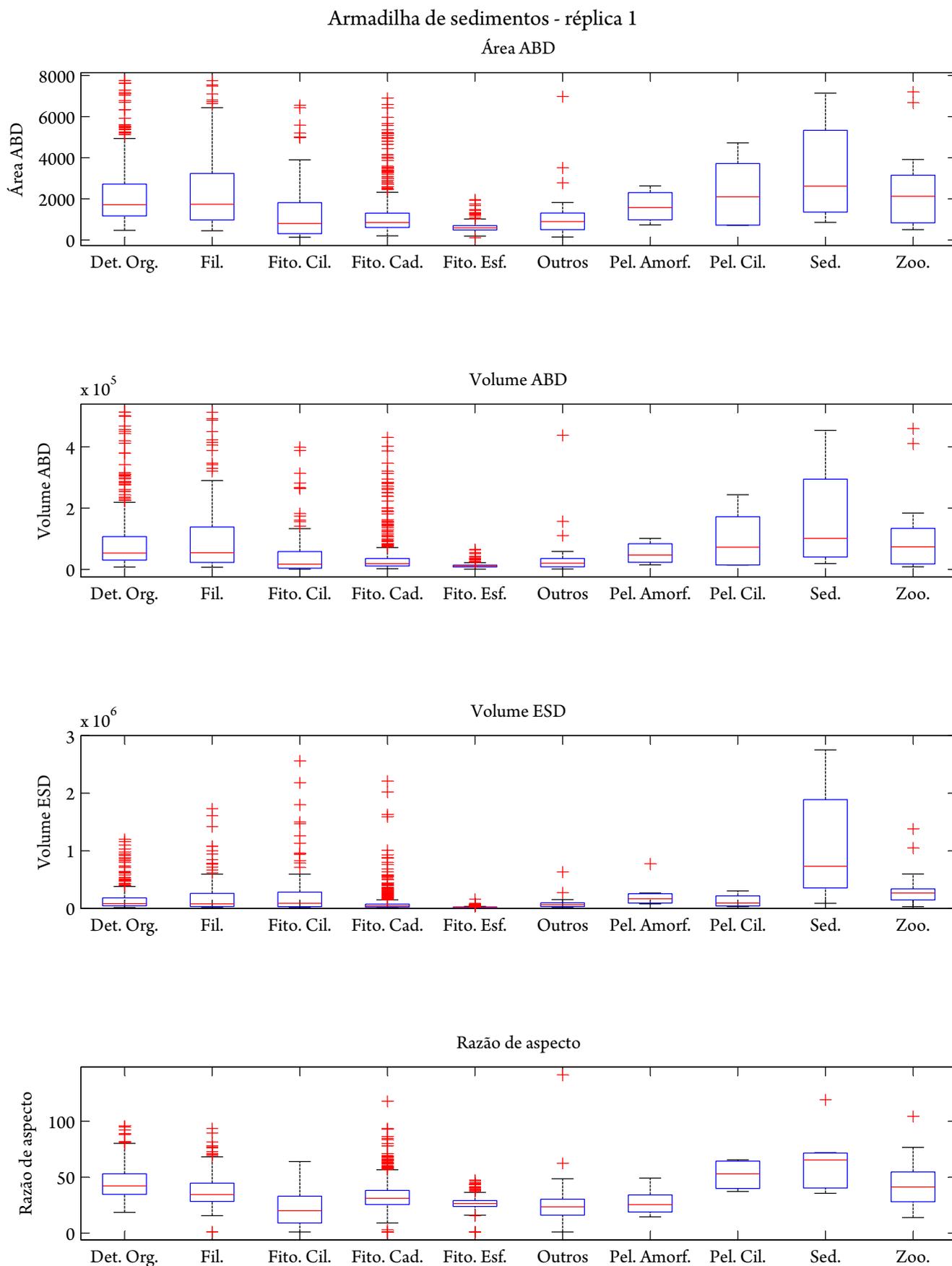


Figura 3.8: Boxplot das propriedades seleccionadas da armadilha de sedimentos (réplica 1), como obtido pelo FlowCAM.

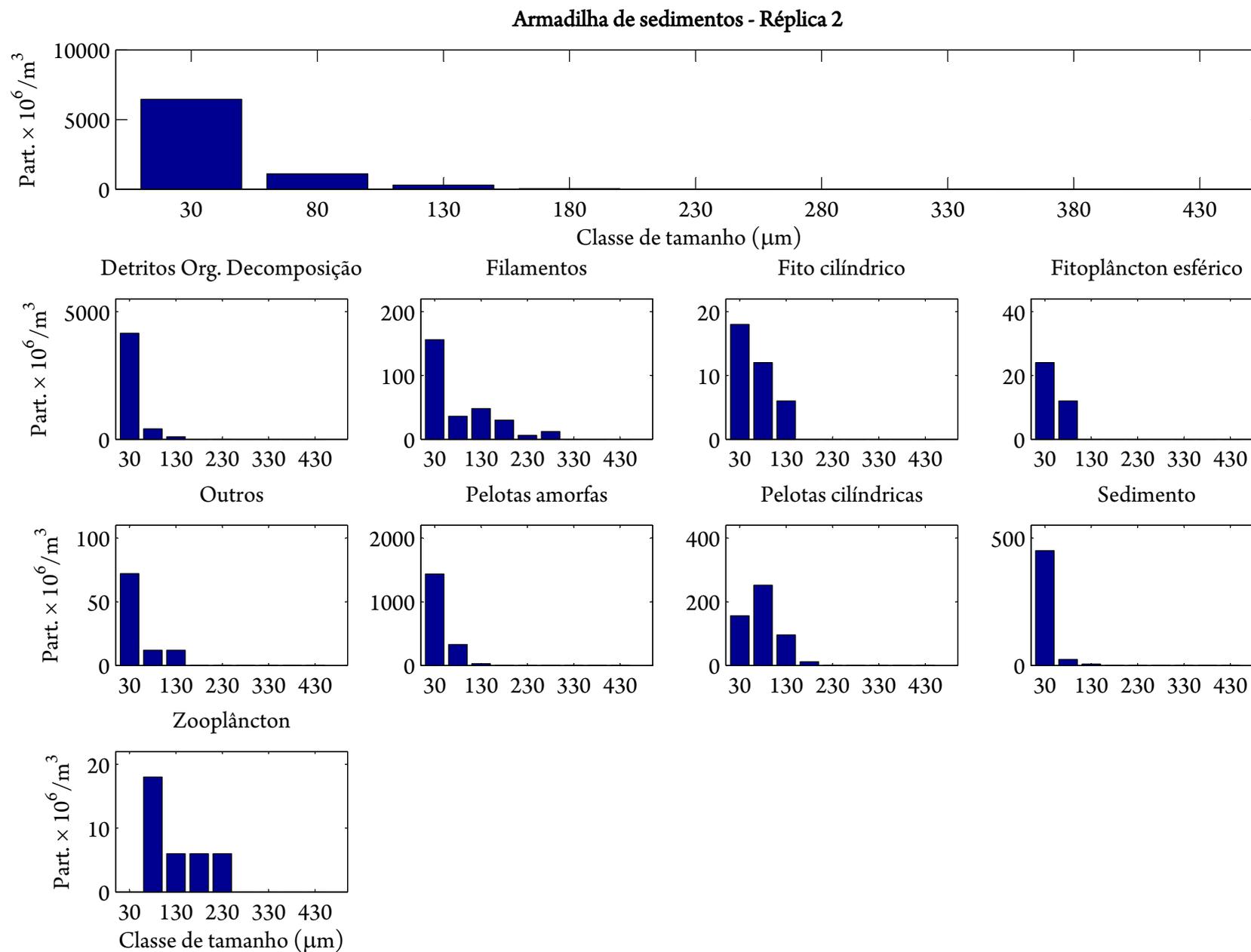


Figura 3.9: Divisão das partículas da armadilha de sedimentos (réplica 2) em classes de tamanho, como obtido pelo FlowCAM.

Tabela 3.5: Análise estatística da armadilha de sedimentos (réplica 2) por classe e propriedade.

	Area (ABD)	Volume (ABD)	Volume (ESD)	Razão de aspecto
Detritos orgânicos em decomposição				
soma	837424,38	$2,55 \times 10^7$	$6,06 \times 10^7$	468,53
média	1077,77	$3,28 \times 10^4$	$7,80 \times 10^4$	0,6
desvio-padrão	950,83	52840,56	172004,51	0,16
Pelotas amorfas				
soma	614875,61	$2,34 \times 10^7$	$3,47 \times 10^7$	200,49
média	2056,44	$7,83 \times 10^4$	$1,16 \times 10^5$	0,67
desvio-padrão	1188,04	71342,79	111899,65	0,14
Pelotas cilíndricas				
soma	275924,19	$1,27 \times 10^7$	$2,64 \times 10^7$	39,81
média	3208,42	$1,48 \times 10^5$	$3,07 \times 10^5$	0,46
desvio-padrão	1558,07	109528,45	304323,76	0,15
Filamentos				
soma	78079,51	$3,42 \times 10^6$	$2,50 \times 10^7$	10,82
média	1626,66	$7,12 \times 10^4$	$5,21 \times 10^5$	0,23
desvio-padrão	1911,7	116653,61	910805,69	0,15
Sedimento				
soma	61218,23	$1,59 \times 10^6$	$4,58 \times 10^6$	51,31
média	765,23	$1,98 \times 10^4$	$5,73 \times 10^4$	0,64
desvio-padrão	737,7	41790,26	109623,43	0,13
Zooplâncton				
soma	25680,93	$1,34 \times 10^6$	$6,75 \times 10^6$	3,17
média	4280,16	$2,24 \times 10^5$	$1,13 \times 10^6$	0,53
desvio-padrão	1951,5	151748,41	1320679,62	0,15
Outros				
soma	20316,97	$7,81 \times 10^5$	$2,50 \times 10^6$	7,64
média	1269,81	$4,88 \times 10^4$	$1,56 \times 10^5$	0,48
desvio-padrão	1554,24	89308,82	283271,82	0,2
Fito esférico				
soma	16650,83	$7,32 \times 10^5$	$1,22 \times 10^6$	4,39
média	2775,14	$1,22 \times 10^5$	$2,03 \times 10^5$	0,73
desvio-padrão	1715,79	117945,85	165052,19	0,13
Fito cilíndrico				
soma	6001,04	$1,62 \times 10^5$	$1,05 \times 10^6$	1,89
média	1000,17	$2,69 \times 10^4$	$1,75 \times 10^5$	0,32
desvio-padrão	659,11	25526,88	206783,11	0,28

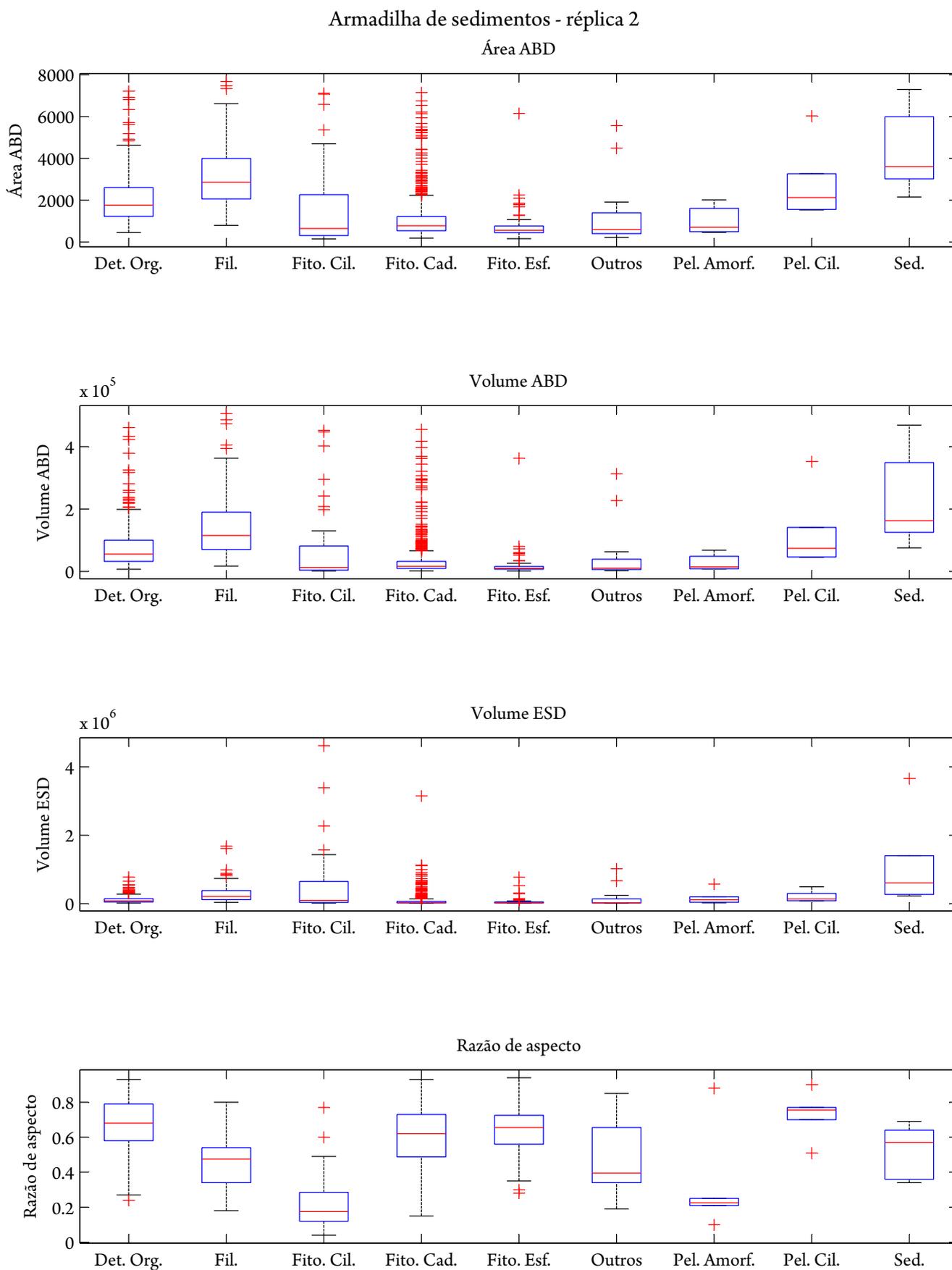


Figura 3.10: Boxplot das propriedades selecionadas da armadilha de sedimentos (réplica 2), como obtido pelo FlowCAM.

Armadilha de sedimentos - Réplica 3

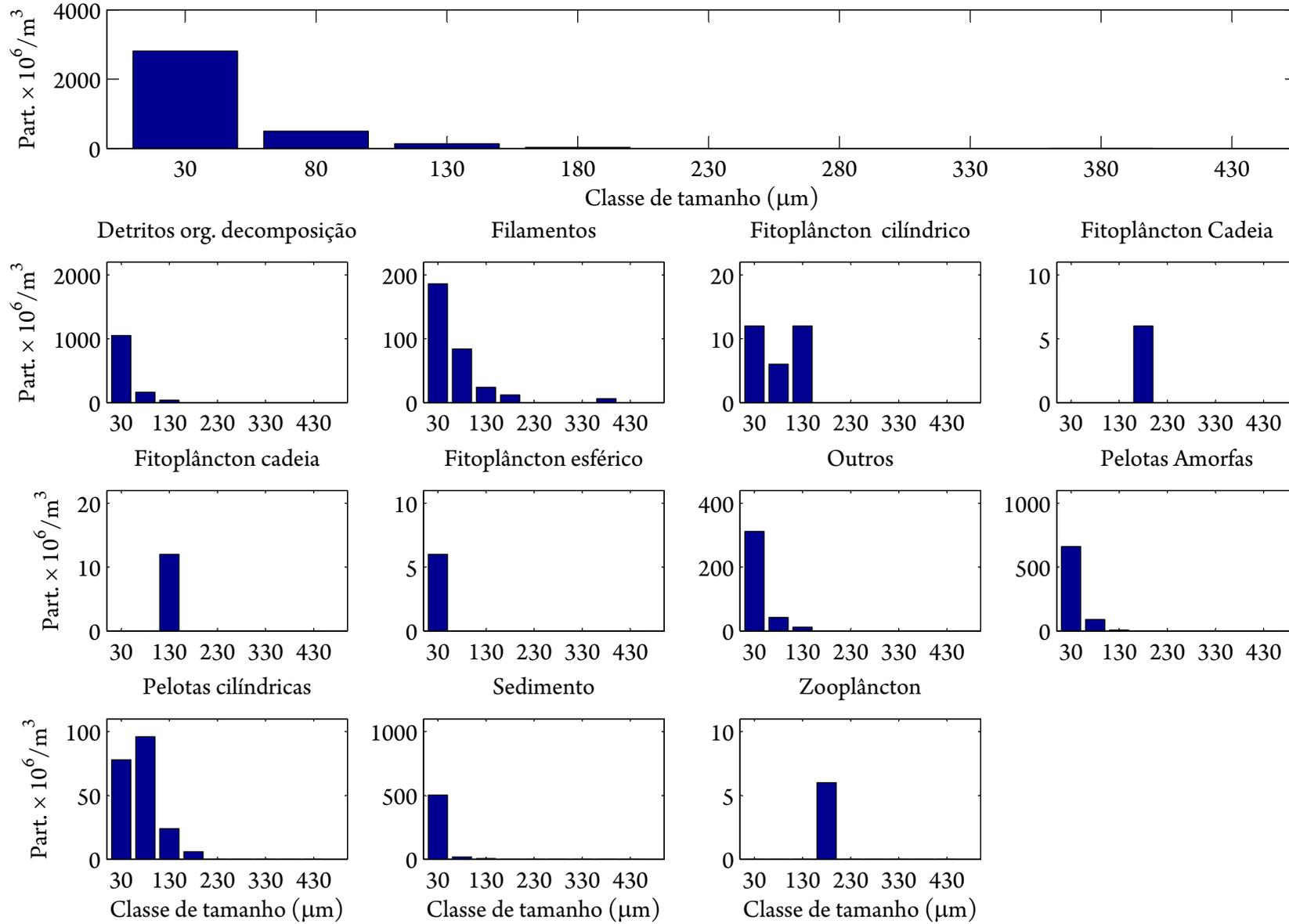


Figura 3.11: Divisão das partículas da armadilha de sedimentos (réplica 3) em classes de tamanho, como obtido pelo FlowCAM.

Tabela 3.6: Análise estatística da armadilha de sedimentos (réplica 3) por classe e propriedade.

	Área (ABD)	Volume (ABD)	Volume (ESD)	Razão de aspecto
Pelotas amorfas				
soma	1,04×10 ⁶	4,19×10 ⁷	7,4×10 ⁷	21870,21
média	2159,63	86586,44	153303,9	45,09
desvio-padrão	1416,65	90034,13	139558	14,79
Detritos orgânicos em decomposição				
soma	233943,93	7,50×10 ⁶	1,98×10 ⁷	118,88
média	757,27	15700	37100	0,56
desvio-padrão	1077,38	61945,63	190456,31	0,15
Pelotas cilíndricas				
soma	88633,12	3,77×10 ⁶	8,20×10 ⁶	14,15
média	2659,45	103500	175500	0,44
desvio-padrão	1392,56	79001,26	244006,72	0,15
Sedimento				
soma	61437,64	1,43×10 ⁶	3,65×10 ⁶	57,68
média	540,9	9460	21800	0,66
desvio-padrão	558,22	29081,8	82993,71	0,13
Outros				
soma	56870,07	1,48×10 ⁶	6,18×10 ⁶	34,01
média	793,33	16800	53300	0,56
desvio-padrão	594,28	24651,09	151518,62	0,2
Filamentos				
soma	42566,14	1,30×10 ⁶	1,79×10 ⁷	10,96
média	432,73	6775	65650	0,2
desvio-padrão	970,8	46326,42	1234228,92	0,11
Fito cadeia				
soma	16704,91	9,62×10 ⁵	5,78×10 ⁶	2,17
média	6481,83	393000	2200000	0,74
desvio-padrão	1751,47	140265,22	598776,53	0,14
Fito cilíndrico				
soma	4134,9	9,94×10 ⁴	1,20×10 ⁶	1,17
média	1048,75	25500	257000	0,13
desvio-padrão	493,87	15173,23	200861,51	0,26

As análises feitas em aula dos dados da FlowCAM das armadilhas de sedimento e do arrasto vertical geraram os dados apresentados nas Figuras 3.7 a 3.12, e nas Tabelas 3.3 a 3.6. Neste conjunto de dados, observa-se a ocorrência de detritos orgânicos em decomposição, filamentos, fitoplâncton em cadeia, fitoplâncton cilíndrico, fitoplâncton esférico, pelotas amorfas, pelotas cilíndricas, sedimento e zooplâncton, ao longo de toda a coluna d'água.

Na análise dos dados de FlowCAM para os dados de arrasto, foi acrescentada a classe *cadeias fragmentadas*, que na verdade, contém fotos de partes de cadeias, já que essas partículas (maioria de 130µm) não puderam ser contabilizadas na classe *fitoplâncton em cadeia*. Esta última, por sua vez, apresentou em torno de 50 partículas, a maior parte, menores ou iguais à 130µm. A classe *fitoplâncton cilíndrico* também apresentou predominância de 130µm. *Detritos orgânicos em decomposição* foi a classe com mais partículas (quase 700), sendo que a grande maioria é menor

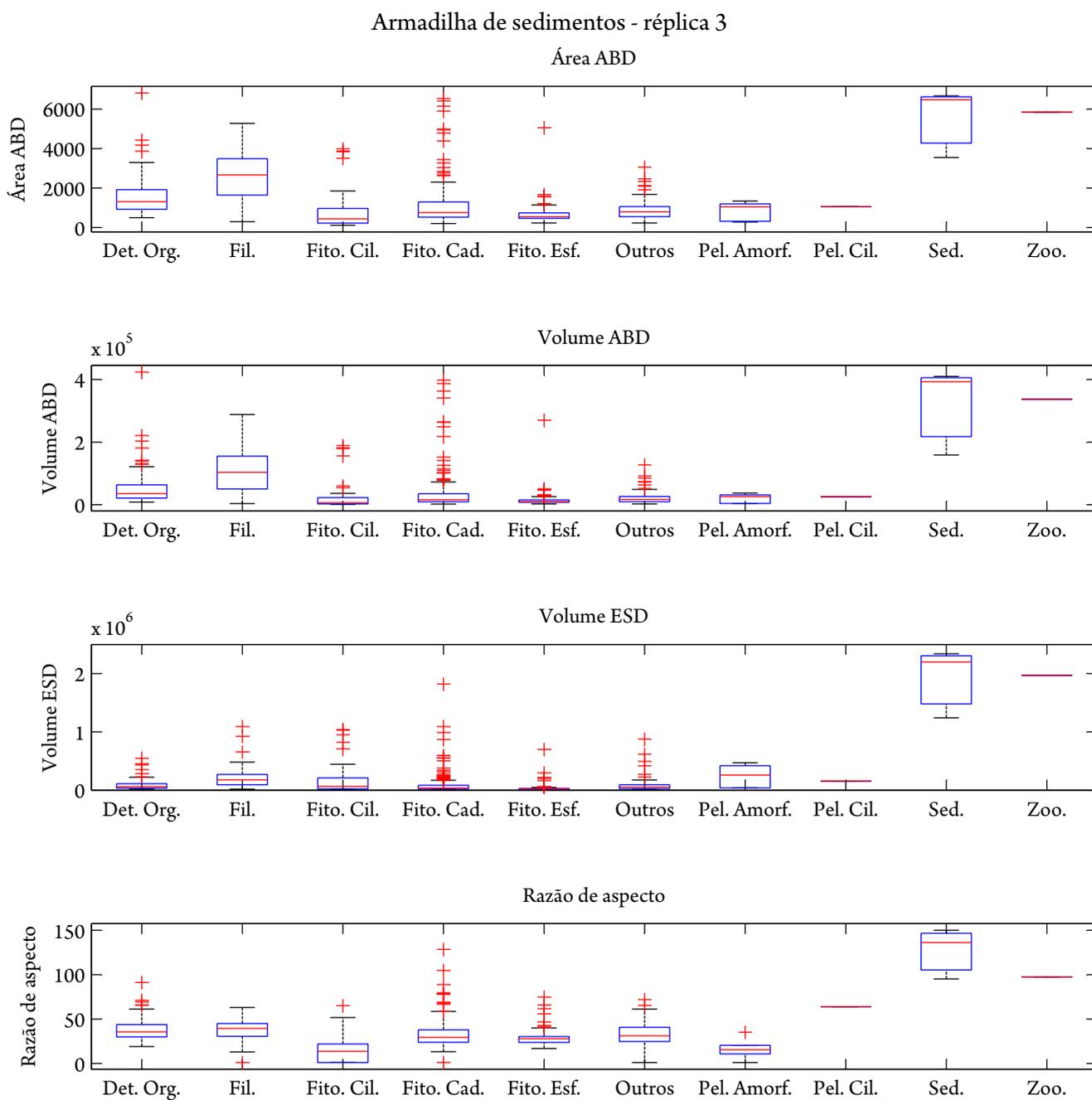


Figura 3.12: Boxplot das propriedades selecionadas da armadilha de sedimentos (réplica 3), como obtido pelo FlowCAM.

que 130 μm . Tanto *fitoplâncton esférico* quanto *sedimento* apresentaram dominância da classe de tamanho menor que 130 μm . Porém, esta possui quantidade de partículas com uma ordem de grandeza maior que aquela. Os dados de *zooplâncton* foram os mais variados, havendo partícula de até 430 μm , mas ainda sim, prevalece a classe de 130 μm de tamanho. A quantidade de pelotas amorfas supera a de pelotas cilíndricas em duas vezes. Na primeira a maior parte é representada por partículas em torno de 30 μm , enquanto na segunda, por partículas entre 60 e 100 μm (Figura 3.7).

A distribuição das partículas coletadas em armadilhas em classes de tamanho mostrou, nas três réplicas, uma maior ocorrência de partículas pequenas (de 30 a 80 μm) (Figuras 3.7 a 3.12). Em relação ao número de partículas por métrico cúbico, a classe *sedimentos* foi a mais representativa na réplica 1 (chegando a cerca de 500×10^6 part/ m^3), seguida das classes *detritos orgânicos em decomposição* (cerca de $500 \cdot 10^6$ part/ m^3 também) e *pelotas amorfas* (cerca de 250×10^6 part/ m^3). Nas réplicas 2 e 3 as classes dominantes foram *detritos orgânicos em decomposição*, com cerca de 500×10^6 part/ m^3 e 120×10^6 part/ m^3 , respectivamente, e *pelotas amorfas*, com aproximadamente 200×10^6 part/ m^3 e 60×10^6 part/ m^3 partículas, respectivamente. Estas classes estão compreendidas entre 30 e 80 μm .

Na réplica 1 da armadilha de sedimento pode-se notar que a classe *sedimentos* apresentou valores médios de área ABD, volume ABD, volume ESD e razão de aspecto superiores aos das outras classes (Tabela 3.4). Contudo, esta classe apresentou uma grande variabilidade dos valores de área e volume, isto é, o desvio-padrão desta classe foi muito alto. As classes *zooplâncton*, *pelotas cilíndricas*, *detritos orgânicos em decomposição* e *filamentos* apresentam médias próximas à média da classe *sedimento*, para área e volume ABD.

As classes que apresentaram menores valores destes parâmetros foram *fitoplâncton cadeia*, *fitoplâncton cilíndrico* e *fitoplâncton esférico*. A classe *fitoplâncton esférico* foi a que apresentou a distribuição de área e volumes mais uniforme dentre todas as classes.

Na réplica 2 da armadilha de sedimento, novamente a classe *sedimentos* foi a que apresentou maiores valores médios para área ABD, volume ABD e volume ESD, seguida da classe *filamentos* (Tabela 3.5). As classes que apresentaram as menores médias de área e volume foram *fitoplâncton esférico*, *cadeia* e *cilíndrico* e *pelotas amorfas*. Novamente os *sedimentos* apresentaram a maior distribuição de tamanho entre as classes.

A réplica 3 revela o mesmo padrão que as anteriores, sendo que os valores médios do *sedimento* e do *zooplâncton* revelaram-se mais distantes das médias das outras classes que nas outras réplicas (Tabela 3.6).

De forma geral, nas três réplicas, observou-se que o *sedimento*, as *pelotas cilíndricas*, o *zooplâncton* e os *filamentos* possuem área e volume superiores aos do *fitoplâncton*. Além disso, nas três amostras, a classe *fitoplâncton cadeia* foi a que apresentou mais dados espúrios, devido, provavelmente, à fragmentação da cadeia em frações menores.

Em todas as análises de abundância (Tabela 3.7), a maior porcentagem encontrada foi a de *detritos orgânicos em decomposição* (em torno de 36,0%, exceto a réplica 3 que apresentou o mais alto valor, próximo de 59,0%). Provavelmente, essa ocorrência está relacionada à dificuldade de separação das imagens obtidas pela FlowCam em diferentes classes. A interpretação é subjetiva e, pelo fato de esses *detritos*, na realidade, não terem uma forma definida, qualquer imagem com forma pouco distinta e de coloração escura foi colocada nessa classe.

Pelotas amorfas é a segunda classe mais abundante ($\sim 22,5\%$) nas réplicas da armadilha de sedimentos, possivelmente pelas mesmas razões descritas anteriormente. No entanto, na amostra da rede de arrasto vertical, há mais

Tabela 3.7: Porcentagem de cada classe de tamanho nas réplicas da armadilha de sedimentos.

	R1		R2		R3
Detritos org decomp.	35,11%	Detritos org decomp.	58,68%	Detritos org decomp.	35,92%
Pelotas amorfas	23,55%	Pelotas amorfas	22,58%	Pelotas amorfas	21,76%
Sedimento	23,12%	Pelotas cilíndricas	6,49%	Sedimento	15,20%
Pelotas cilíndricas	9,91%	Sedimento	6,04%	Outros	10,53%
Filamentos	4,61%	Filamentos	3,62%	Filamentos	8,98%
Outros	1,94%	Outros	1,21%	Pelotas cilíndricas	5,87%
Zooplâncton	0,34%	Fito cilíndrico	0,45%	Fito cilíndrico	0,86%
Fito cadeia	0,34%	Fito esférico	0,45%	Fito cadeia	0,52%
Fito cilíndrico	0,34%	Zooplâncton	0,45%	Fito esférico	0,17%
Fito esférico	0,24%	Fito cadeia	0,00%	Zooplâncton	0,17%

partículas de sedimento seguida de filamentos, com porcentagens bem próximas, 14,0% e 13,9% respectivamente. Só então aparece a classe pelotas amorfas com 10,9%.

Pelotas cilíndricas aparecem com porcentagem de 6,0%, semelhante em quase todas as amostras; apenas um pouco maior na réplica 1 (9,9%). No entanto, é a sexta classe mais abundante na réplica 3 e na amostra de arrasto vertical, enquanto que na réplica 1 e 2, ocupa a 4ª e 3ª posição nas estimativas de abundância, respectivamente.

Pela análise das porcentagens do zooplâncton e as variadas classes do fitoplâncton, sempre apresentam valores próximos; mas, se considerarmos o conjunto fitoplâncton, este é mais abundante relativamente ao zooplâncton. Pela comparação das diferentes formas de fitoplâncton, as cilíndricas prevalecem sobre as esféricas; porém, as cadeias não apresentaram nenhum padrão, e mostrou maior abundância na amostra de arrasto vertical (3,9%) que também tem uma classe a mais “cadeia fragmentada” que representa fotos incompletas de cadeias, podendo ser a mesma partícula, mas partes ou posições diferentes.

Os resultados da contagem de bactérias, da distribuição qualitativa de zooplâncton e da análise de carbono orgânico e nitrogênio não foram apresentados nesse relatório. Os resultados da contagem de bactérias não nos foi disponibilizados, não houve análise das amostras de zooplâncton e não foi feita a análise de carbono inorgânico e nitrogênio por falta de material para análise.

4 *Considerações finais*

Os diferentes equipamentos utilizados para caracterizar o fluxo de material em direção ao fundo oceânico realizam contagens de partículas com diferentes faixas de tamanho (Coulter Counter de 2,8 a 31,5 μm ; FlowCAM de 40 a 300 μm ; LOPC de 100 a 2000 μm). Em todas as classes de tamanho houve predomínio de partículas de menores, enfatizando a importância dos pequenos organismos no ecossistema. Porém, os dados de LOPC revelaram que a maior contribuição da biomassa vem das partículas maiores.

Devido à falta de trabalhos semelhantes na região, a comparação de taxas de afundamento de partículas fica impossibilitada. Dessa forma, pode-se dizer que os valores encontrados ($10^5 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ para as partículas em suspensão na água e $10^7 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ para as partículas que atingem o fundo) são típicos de áreas rasas da região de Ubatuba no período do inverno.

Referências Bibliográficas

- AB'SABER, A. N. Contribuição à geomorfologia do litoral paulista. *Revista Brasileira de Geografia*, São Paulo, v. 1, p. 1–37, 1955.
- ABSHER, T. M. *Aspectos Oceanográficos e Malacofauna Bêntica da Enseada das Palmas - Ilha Anchieta (São Paulo)*. 109 f. Tese (Doutorado) — Instituto Oceanográfico, São Paulo, 1982.
- AZEVEDO, G. F. de O. *Variabilidade sazonal (outono–primavera) da produtividade primária e biomassa fitoplanctônica na Enseada do Flamengo, Ubatuba, Litoral Norte do Estado de São Paulo*. 159 f. Dissertação (Oceanografia Biológica) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- CASTRO-FILHO, B. M. de; MIRANDA, L. B.; MIYAO, S. Y. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 135–151, 1987.
- FUMEST. *Ilha Anchieta: plano geral de exploração turística*. São Paulo: São Paulo, Secretaria de Esportes e Turismo, 1974. 69 p.
- HOLM-HANSEN, O. et al. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, v. 30, p. 3–15, 1965.
- KOBARI, T. et al. Impacts of ontogenetically migrating copepods on downward carbon flux in the western subarctic pacific ocean. *Deep-Sea Research II*, v. 55, p. 1648–1660, 2008.
- POOLE, H.; ATKINS, W. R. G. Photo-eletric measurements of submarine illumination throughout the year. *J. mar. biol.*, n. 16, p. 297–324, 1929.
- SILVA, J. F. Dados climatológicos de cananéia e ubatuba (estado de são paulo). *Bolm. Clim. Inst. Oceanogr.*, São Paulo, v. 5, p. 1–18, 1984.