

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS  
NATURAIS**

**MARIANA DUÓ PASSERINI**

**INFLUÊNCIA DAS FRENTES FRIAS NOS MECANISMOS DE  
FUNCIONAMENTO DA REPRESA DA UHE CARLOS BOTELHO  
(LOBO/BROA) – ITIRAPINA – SP, DOS PONTOS DE VISTA  
QUÍMICO, FÍSICO E BIOLÓGICO**

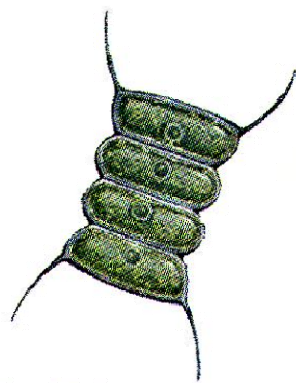
**São Carlos**

**2010**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS  
NATURAIS**

**MARIANA DUÓ PASSERINI**

**INFLUÊNCIA DAS FRENTES FRIAS NOS MECANISMOS DE  
FUNCIONAMENTO DA REPRESA DA UHE CARLOS BOTELHO  
(LOBO/BROA) – ITIRAPINA – SP, NOS PONTOS DE VISTA  
QUÍMICO, FÍSICO E BIOLÓGICO**



Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Orientação: Prof. Dr. José Galizia Tundisi

São Carlos

2010

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

P287if

Passerini, Mariana Duó.

Influência das frentes frias nos mecanismos de funcionamento da represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) – Itirapina – SP, dos pontos de vista químico, físico e biológico / Mariana Duó Passerini. -- São Carlos : UFSCar, 2010.

110 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Limnologia. 2. Frentes frias. 3. Fitoplâncton. 4. Reservatórios de água. 5. Nutrientes. I. Título.

CDD: 574.52632 (20<sup>a</sup>)

Mariana Duó Passerini

**INFLUÊNCIA DAS FRENTES FRIAS NOS MECANISMOS DE  
FUNCIONAMENTO DA REPRESA DA UHE CARLOS BOTELHO  
(LOBO/BROA) – ITIRAPINA – SP, DOS PONTOS DE VISTA QUÍMICO,  
FÍSICO E BIOLÓGICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

**Aprovada** em 08 de março de 2010

**BANCA EXAMINADORA**

Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Galizia Tundisi  
(Orientador)

1º Examinador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Odete Rocha  
PPGERN/UFSCar

2º Examinador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Corina Verônica Sidagis Galli  
IIE/São Carlos-SP

Dedico este trabalho a todas as pessoas que mais amo nesta vida, meus pais, Tuca e Nardinho, minha irmã, Gabriela e meu namorado, Wagner, que sempre me apoiaram para que eu conseguisse chegar até aqui.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e ao FNDCT/Fundos Setoriais, pela bolsa concedida (processo nº 136401/2008 2).

Ao PPG-ERN e aos funcionários da secretaria do PPG-ERN pela ajuda em toda a burocracia.

Ao Prof. Dr. José Galizia Tundisi, pela orientação, amizade, pelos conhecimentos adquiridos e pela oportunidade de realizar este trabalho.

À Profa. Takako Matsumura-Tundisi, pelas lições limnológicas e pela amizade.

Ao Instituto Internacional de Ecologia, principalmente ao diretor José Eduardo, pelo suporte e pela infraestrutura concedida para a realização de todas as etapas deste trabalho.

À toda equipe técnico-científica, colegas e amigos, do IIE, pelas contribuições em laboratório, em campo e burocráticas: Aline, Regina, Leandrão, André, Karyna, Thais, Edson, Vivi, Faria, Sonia, Felipe, Felipe Honda, Guilherme, Guto, Jorge, Eliezer, Ricardo, Deyves, Juan, Flávia, Fer Souza, Fer Blanco, Taurai, Suelen, Jota, Ingrid, Valéria, Elizeu, Samuel e Ivano.

Aos amigos Corina e Donato, pela amizade, pelas dúvidas sanadas, pelas ajudas nas coletas, pelos conselhos, correções e pelas discussões valiosas para a formulação da dissertação.

Ao meu amigo de mestrado, de instituto e de saídas, Danilão Iha, que fez questão de um parágrafo só para ele, agradeço pela amizade e pela imensa ajuda durante todo o mestrado.

Ao Marcos e ao prof. Vecchia, pela amizade, pelos dados cedidos da USP e aprendizado das frentes frias.

Aos Prof. Dr. Irineu, à Profa. Dra. Dalva e a Dra. Corina, pelas contribuições no exame de qualificação.

À minha família, meus pais e minha irmã, que sempre estiveram do meu lado, me apoiando e me incentivando.

Ao meu namorado e companheiro Wagner, pela ajuda em coletas, análises e principalmente pelo incentivo, conselhos e paciência.

As meninas de minha república, Fá e Gi, pela amizade, pelas risadas e descontração.

À amiga Anna Paula, pela ajuda com a identificação das algas, dicas e auxílios para a coleta e principalmente pela ajuda e conselhos em momentos críticos e fundamentais para continuidade deste trabalho.

Aos amigos Lena, Aline, Bru, Julia, Mei, Ju Dias, Cris, Leite, Gil, Renan, Paulinho, Fábio, Du e meu cunhado Miltinho pela amizade e apoio.

Enfim, a todos que de alguma forma me ajudaram.....

Muito Obrigada!!!

*A sabedoria é a essência da conquista.*

*É iniciada nos sonhos,  
desenvolvida na coragem  
e eternizada no tempo.*

*Bruno Raphael da Cunha Dobicz*

*A satisfação está no esforço feito  
para alcançar o objetivo, e não  
apenas em tê-lo alcançado.*

*Mahatma Gandhi*

## RESUMO

No Brasil ocorre a predominância numérica de sistemas fluviais, o que favorece a construção de represas. Estas represas possuem grande significado ecológico, econômico e social, portanto, o gerenciamento, a conservação e a recuperação desses sistemas são de importância fundamental com reflexos na economia, na área social e nos usos dos sistemas aquáticos. Fenômenos climatológicos, como a passagem de frentes frias, são fatores importantes que influenciam na qualidade da água dos reservatórios. Diante disto, neste trabalho objetivou-se estudar a influência das frentes frias nos mecanismos de funcionamento da represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa), na alteração da comunidade fitoplanctônica, na desestratificação da coluna de água e na alteração da composição química e física do reservatório, contribuindo assim, para a compreensão dos fenômenos de circulação global dos sistemas aquáticos, principalmente de represas rasas. Duas coletas foram realizadas para este trabalho, uma na estação seca e outra na chuvosa. A escolha do período da coleta baseou-se em dados climatológicos, hidrológicos e análises das repartições climáticas. As variáveis ambientais foram coletadas na coluna da água, obtendo-se o perfil vertical da represa. Os resultados demonstram que antes da passagem da frente fria, durante períodos de baixa velocidade de vento, pôde-se perceber a estratificação formada na coluna de água. Já durante a passagem da frente fria, o estresse do vento aumenta e a radiação solar e a temperatura ambiente diminuem, promovendo uma mistura vertical da água, resultando na desestratificação da coluna da água e, conseqüentemente, na homogeneização das variáveis físicas e químicas e a ressuspensão dos nutrientes e das diatomáceas que estavam dormentes no sedimento e sua rápida multiplicação na coluna de água.

Palavras-chave: Reservatórios. Fitoplâncton. Frentes Frias. Nutrientes.



## **ABSTRACT**

In Brazil there is a numerical predominance of river systems, which favors the construction of reservoirs. These reservoirs have great ecological, economic and social significance, so, the management, conservation and recovery of these systems are of fundamental importance with repercussions on the economy, social work and the uses of aquatic systems. Climatological phenomena, such as the passage of cold fronts, are important factors that influence the water quality of reservoirs. Given this, this work aimed to study the influence of cold fronts in the mechanisms of function of the hydroelectric reservoir of Carlos Botelho (Lobo/Broa), the change in the phytoplankton community, in the destratification of the water column and the change in chemical and physical composition of the reservoir, thus contributing to the understanding of the phenomenon of global circulation of aquatic systems, especially in shallow reservoirs. Two samples were collected for this work, one in the dry season and another in the wet season. The environmental variables were collected in the water column, resulting in the vertical profile of the reservoir. The results show that before the passage of the cold front, during periods of low wind speed, we could see the stratification formed in the water column. During the passage of the cold front, the stress of wind increase and the solar radiation decrease and temperature decreases, promoting vertical mixing of water, resulting in the destratified water column and thus providing homogeneity of physical and chemical variables and the resuspension of nutrients and diatoms that were dormant in the sediment and their rapid multiplication in the water column.

**Keywords:** Reservoirs. Phytoplankton. Cold Fronts. Nutrients.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Represa Carlos Botelho (Lobo/Broa): principais tributários, localização da barragem, limite de macrófitas, direção do vento predominante (v) e morfometria (TUNDISI et al., 2003). Coordenada do ponto de coleta: 22 ° 10' 08,5" S e 47 ° 57' 11,7" O.....	21
Figura 2 – Dados de precipitação para o município de São Carlos no ano de 2009 .....	22
Figura 3 – Represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) – Vista Panorâmica.....	24
Figura 4 – Local de coleta. Coordenada 22 ° 10' 08,5" S e 47 ° 57' 11,7" O.....	24
Figura 5 – Velocidade do vento meridional. (a) No período da coleta do verão - fevereiro 2009; (b) no período da coleta do inverno - agosto 2009 .....	25
Figura 6 – Sequência das imagens de satélite nas quais observa-se a entrada, propagação e dissipação de uma frente fria nos dias 10 a 14/02/09; GOES. (a) Dia 10/02/09: prenúncio; (b) dia 11/02/09: avanço da frente fria no estado de São Paulo; (c) dia 12/02/09: domínio da massa Polar no estado de São Paulo; (d) dia 13/02/09: domínio da massa Polar no estado de São Paulo; (e) dia 14/02/09: dissipação da frente fria, tropicalização .....	31
Figura 7 – Sequência das imagens de satélite nas quais observa-se a entrada, propagação e dissipação de uma frente fria nos dias 09 a 14/08/09; GOES. (a) Dia 09/08/09: prenúncio; (b) dia 10/08/09: prenúncio/avanço da frente fria no estado de São Paulo; (c) dia 11/08/09: domínio da massa Polar no estado de São Paulo; (d) dia 12/08/09: dissipação da frente fria; (e) dia 13/08/09: tropicalização; (f) dia 14/08/09: estado de São Paulo sob domínio da Massa Tropical.....	32
Figura 8 – Velocidade do vento (m.s <sup>-1</sup> ). (a) Coleta de verão; (b) coleta de inverno. ....	33
Figura 9 – Ponto de coleta – antes da chegada de frente fria. ....	34
Figura 10 – Ponto de coleta – durante a chegada de frente fria.....	34
Figura 11 – Perfil vertical da coluna de água de variáveis física e químicas nos dias 11, 12, 13 e 14/02/09. (a) Condutividade (ms.cm <sup>-1</sup> ); (b) oxigênio dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> ); (c) pH; (d) sólidos totais dissolvidos (g.L <sup>-1</sup> ) e (e) temperatura (°C).....	37
Figura 12 – Perfil vertical da coluna de água de variáveis física e químicas nos dias 10, 11, 12 e 14/08/09. (a) Condutividade (ms.cm <sup>-1</sup> ); (b) oxigênio dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> ); (c) pH; (d) sólidos totais dissolvidos (g.L <sup>-1</sup> ) e (e) temperatura (°C).....	39

Figura 13 – Variação na zona eufótica medida nos dias 11, 12, 13 e 14 de fevereiro de 2009 na represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) .....	41
Figura 14 – Variação na zona eufótica medida nos dias 10, 11, 12 e 14 de agosto de 2009 na represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa). .....	42
Figura 15 – Resistência Térmica Relativa (RTR) na coleta de verão. (a) Dia 11/02/09; (b) dia 12/02/09; (c) dia 13/02/09 e (d) dia 14/02/09.....	43
Figura 16 – Resistência Térmica Relativa (RTR) na coleta de inverno. (a) Dia 10/08/09; (b) dia 11/08/09; (c) dia 12/08/09 e (d) dia 14/08/09.....	44
Figura 17 – (a) Concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) de NTK na coluna de água da coleta de verão. Dia 11/02/09 – azul; dia 12/02/09 – vermelho; dia 13/02/09 – verde e dia 14/02/09 – roxo. (b) Concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) de NTK na coluna de água da coleta de inverno; dia 10/08/09 – azul; dia 11/08/09 – vermelho; dia 12/08/09 – verde e dia 14/02/09 – roxo.....	51
Figura 18 – (a) Concentração ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) de fosfato inorgânico na coluna de água da coleta de verão (PI). (b) Concentração ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) de fósforo total na coluna de água da coleta de verão (PT). Dia 11/02/09 – azul; dia 12/02/09 – vermelho; dia 13/02/09 – verde e dia 14/02/09 – roxo .....	52
Figura 19 – (a) Concentração ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) de fosfato inorgânico na coluna de água da coleta de inverno (PI). (b) Concentração ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) de fósforo total na coluna de água da coleta de inverno (PT). Dia 10/08/09 – azul; dia 11/08/09 – vermelho; dia 12/08/09 – verde e dia 14/08/09 – roxo .....	53
Figura 20 – (a) Concentração ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) de fosfato total dissolvido na coluna de água da coleta de verão, dia 11/02/09, dia 11/02/09 – azul; dia 12/02/09 – vermelho; dia 13/02/09 – verde e dia 14/02/09 – roxo. (b) Concentração ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) de fosfato total dissolvido na coluna de água da coleta de inverno; dia 10/08/09 – azul. Dia 11/08/09 – vermelho; dia 12/08/09 – verde e dia 14/02/09 – roxo. ....	54
Figura 21 – (a) Concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) de silicato reativo solúvel na coluna de água da coleta de verão, dia 11/02/09 – azul; dia 12/02/09 – vermelho; dia 13/02/09 – verde e dia 14/02/09 – roxo. (b) Concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) de silicato reativo solúvel na coluna de água da coleta de inverno; dia 10/08/09 – azul; dia 11/08/09 – vermelho; dia 12/08/09 – verde e dia 14/02/09 – roxo .....	55
Figura 22 – Perfil vertical da coluna de água da concentração de clorofila-a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ). (a) Coleta de verão, dias 11, 12, 13 e 14/02/09. (b) Coleta de inverno, dias 10,11, 12 e 14/08/09.....	57
Figura 23 – Perfil vertical da coluna de água na coleta de verão, representando os grupos fitoplanctônicos: Chlorophyceae (verde); Cyanophyceae (azul); Bacillariophyceae (vermelho) e Cryptophyceae (preto). (a) 11/02/09; (b)	

12/02/09; (c) 13/02/09; (d) 14/02/09. Zona eufótica: (a,b) 0 a 6,30m; (c) 0 a 5,4m e (d) 0 a 5,7m .....	60
Figura 24 – Perfil vertical da coluna de água, representando os grupos fitoplanctônicos: Chlorophyceae (verde); Cyanophyceae (azul); Bacillariophyceae (vermelho) e Cryptophyceae (preto). (a) Dia 10/08/09; (b) dia 11/08/09; (c) dia 12/08/09; (d) dia 14/08/09. Zona eufótica: (a, b, d) 0 a 5,7m; (c) 0 a 4,5m.....	62
Figura 25 – Perfil vertical da coluna de água representando os grupos fitoplanctônicos (organismos. L <sup>-1</sup> ) na coleta de verão: Chlorophyceae (verde); Cyanophyceae (azul); Bacillariophyceae (vermelho); Euglenophyceae (roxo); Chrysophyceae (rosa); Zygnematophyceae (laranja) e Xanthophyceae (amarelo). (a) Dia 11/02/09; (b) dia 12/02/09; (c) dia 13/02/09; (d) dia 14/02/09. Zona eufótica: (a,b) 0 a 6,30 m; (c) 0 a 5,4 m e (d) 0 a 5,7 m .....	64
Figura 26 – Abundância fitoplanctônica na coleta de verão.....	66
Figura 27 – Perfil vertical da coluna de água representando os grupos fitoplanctônicos na coleta de inverno: Chlorophyceae (verde); Cyanophyceae (azul); Bacillariophyceae (vermelho); Euglenophyceae (roxo); Chrysophyceae (rosa); Zygnematophyceae (laranja) e Xanthophyceae (amarelo). (a) Dia 10/08/09; (b) dia 11/08/09; (c) dia 12/08/09 e (d) dia 14/08/09. Zona eufótica: (a, b, d) 0 a 5,7 m; (c) 0 a 4,5 m.....	68
Figura 28 – Abundância fitoplanctônica na coleta de inverno .....	70
Figura 29 – (a) Concentração (µg.L <sup>-1</sup> ) de clorofila-a na coluna de água da coleta de inverno. Formação de SCM. Dia 10/08/09 – azul; dia 11/08/09 – vermelho; dia 12/08/09 – verde e dia 14/08/09 – roxo e (b) RTR no dia 14/08/09.....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características Morfométricas da represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) .....	23
Tabela 2 – Temperatura do ar na coleta de verão e inverno.....	35
Tabela 3 – Precipitação nos períodos de coleta.....	36
Tabela 4 – Valores dos principais ânions analisados durante a coleta de verão .....	45
Tabela 5 – Valores dos principais cátions analisados durante a coleta de verão.....	47
Tabela 6 – Valores dos principais ânions analisados durante a coleta de inverno .....	49
Tabela 7 – Valores dos principais cátions analisados durante a coleta de inverno .....	50
Tabela 8 – Concentração de Clorofila-a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) na coleta de verão .....	58
Tabela 9 – Concentração de Clorofila-a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) na coleta de inverno .....	58
Tabela 10 –Concentração de Feofitina ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) na coleta de verão .....	59
Tabela 11 –Concentração de Feofitina ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) na coleta de inverno .....	59
Tabela 12 –Classes e gêneros de fitoplâncton encontrados no reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa), no período de coleta de verão .....	72
Tabela 13 –Classes e gêneros de fitoplâncton encontrados no reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa), no período de coleta de inverno.....	73

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**UHE** – Usina Hidrelétrica

**RTR** – Resistência Térmica Relativa

**OD** – Oxigênio Dissolvido

**TDS** – Sólidos Totais Dissolvidos

**NTK** – Nitrogênio Total Kjeldahl

**PI** – Fosfato Inorgânico

**PT** – Fósforo Total

**PTD** – Fosfato Total Dissolvido

**SCM** - *Subsurface Chlorophyll Maximum*

**DP** – Desvio Padrão

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS .....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1. Área de estudo.....	21
3.2. Local e período de amostragem .....	23
3.3. Variáveis físicas e químicas da água.....	26
3.4. Variáveis biológicas da água.....	27
3.5. Tratamento dos dados .....	29
4. RESULTADOS .....	31
4.1. Imagens de satélite .....	31
4.2. Variáveis físicas e químicas .....	33
4.3. Variáveis biológicas .....	57
5. DISCUSSÃO .....	75
5.1. Variáveis físicas e químicas .....	75
5.2. Variáveis biológicas .....	81
6. CONCLUSÕES .....	90
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	92
8. ANEXO .....	108
8.1. Fotos do fitoplâncton da represa do Broa visualizadas no aumento de 400 vezes.....	108

# 1. INTRODUÇÃO

---

O rico sistema hídrico brasileiro permite a construção e implementação de reservatórios artificiais para múltiplos usos. Dentre estes usos, podem-se citar: produção de energia, recreação e abastecimento. Estes ecossistemas ocupam posição intermediária dentro do continuum rio-lago (STRASKRABA e TUNDISI, 2000). Esta peculiaridade é decorrente de características típicas que estes ambientes apresentam: a) forte influência externa (carga de nutrientes e sedimentos); b) morfologia e hidrologia distinta de lagos e rios; c) fontes externas e internas de matéria orgânica (KIMMEL et al., 1990; STHAPIT et al., 2008). Dependendo do tempo de residência (volume/vazão) da água, os reservatórios também podem variar muito entre si. Se o tempo de residência for muito baixo, os reservatórios com esta natureza assumem características ecológicas próximas aos ecossistemas lóticos. No outro caso (tempo de residência elevado), os reservatórios apresentam características similares a ambientes lênticos (HENRY et al., 1998). Outra característica das represas é a grande variação no nível de água, podendo ocorrer em pouco tempo, em função das necessidades de uso da água.

Segundo Esteves (1998) e Ribeiro e Silva (2010), as represas são muito representativas na economia brasileira, pois são nelas que as pequenas e médias áreas agropecuárias sustentam seu rebanho e plantações, as quais são as principais fontes de renda agropecuária no Brasil. Além do mais, nas represas podem-se desenvolver a piscicultura, navegação, lazer, abastecimento, geração de energia e locais de estudo no desenvolvimento de pesquisas científicas.

Os vastos recursos hídricos do Brasil têm, portanto, grande significado ecológico, econômico e social. A exploração desses recursos hídricos demanda uma forte articulação entre a base de pesquisa e conhecimento científico acumulado, além de ações de gerenciamento e engenharia. Sem esta articulação que leve em conta qualidade e quantidade de água, muito pouco avanço conceitual pode ser realizado. Além disso, é preciso levar em conta também não somente o sistema aquático, mas a bacia hidrográfica na qual ele se insere e os usos desta unidade-bacia-hidrográfica-rio-lago ou reservatório. Sem este conceito há pouca probabilidade de um gerenciamento efetivo do sistema (TUNDISI, et al., 2002).



Este gerenciamento é muito complexo, dependendo de uma forte base de dados e do desenvolvimento de mecanismos de transferência do conhecimento científico básico para a aplicação. Como há grandes diferenças geomorfológicas, ecológicas e antropológicas nas várias latitudes no Brasil, esta ação torna-se evidentemente mais complexa, pois depende de uma base local ou regional de dados e informações científicas compatíveis com os sistemas regionais (TUNDISI et al., 2002).

A contínua interferência das atividades humanas nos sistemas aquáticos continentais do Brasil produz impactos diretos ou indiretos, com consequências para a qualidade da água, para o funcionamento de lagos, rios e represas, como desmatamento, mineração, perda da diversidade, eutrofização e para as comunidades aquáticas (TUNDISI et al., 2006 e TUNDISI, 2007 e 2008).

Dentre as comunidades aquáticas, o fitoplâncton tem sido amplamente utilizado em estudos de monitoramento dos corpos de água pelas rápidas respostas às modificações ambientais e por exercer papel determinante na produção de matéria orgânica e de oxigênio (SOUZA e FERNANDES, 2009). Chellappa et al. (2009), por exemplo, estudaram a comunidade fitoplanctônica como bio-indicador da qualidade da água em um reservatório do Rio Grande do Norte e observaram uma semelhança qualitativa da comunidade fitoplanctônica nos três pontos de estudo, porém, uma abundância relativa diferente das espécies, com a dominância de cianobactérias potencialmente tóxicas, como *Planktothrix agardhii* no período de seca e *Microcystis aeruginosa* no período de chuva.

Numa determinada massa de água, as comunidades fitoplanctônicas sofrem continuamente um processo de reorganização, designado por sucessão. Esta sucessão é caracterizada por alterações imprevisíveis e reversíveis, repetindo-se, geralmente, o ciclo sucessional numa base anual (SMAYDA, 1980; HUSZAR e REYNOLDS, 1997 e DANTAS et al., 2008) ou mesmo em curtos períodos de tempo, como mudanças diárias (GEMELGO et al., 2009). Estando a dinâmica do fitoplâncton intrinsecamente ligada à variação de variáveis físicas, químicas e biológicas, a comunidade fitoplanctônica, ao ser influenciada e ao influenciar as referidas variáveis, está em constante mudança (KWON et al., 2009).

Armengol et al. (1999) relataram que a estabilidade dos reservatórios é um fator importante na qualidade da água e varia de acordo com a morfologia do reservatório, as flutuações de temperatura do ar e as condições climatológicas. A coluna de água dos reservatórios na dimensão vertical, por exemplo, está sujeita à dinâmica da estabilidade e da mistura da coluna que, por sua vez, influenciam na qualidade da água destes reservatórios artificiais (BRANCO, 2009).

Muitas das características dos reservatórios são influenciadas pela presença de termoclinas (HAMBRIGHT et al., 1994). A profundidade da termoclina e o volume do epilímnio influenciam em diversos atributos os corpos de água, como entrada de energia, reciclagem de nutrientes e produção primária (WETZEL, 1983). Em corpos hídricos estratificados, um forte gradiente de temperatura separa o epilímnio do hipolímnio, limitando espacialmente as escalas dos processos de transporte através do metalímnio. Nesta situação, nas regiões mais profundas, a renovação do oxigênio dissolvido torna-se mais difícil, deixando em alguns casos, uma situação anóxica. Ocorre também uma redução de nitrato e o constante aumento das concentrações de sulfeto devido à redução microbiana do sulfato (BRANCO, 2009; RIMMER, 2005).

Contrariamente ao hipolímnio, o epilímnio muitas vezes apresenta-se pobre em nutrientes. O resultado é uma coluna de água com camadas de características físicas e químicas diversas, separadas pela termoclina. O estresse do vento nestes sistemas aquáticos, entretanto, é capaz de atuar nos seus componentes físicos, químicos e biológicos.

A perturbação promovida pela ação do vento, em represas rasas, ressuspende os nutrientes e as diatomáceas que estavam no sedimento para a camada superficial da coluna de água, alterando a composição física, química e a diversidade, a sucessão e a distribuição dos grupos fitoplanctônicos (TUNDISI et al., 2004; NAKAMOTO et al., 1976 e BRANCO, 2009). Por exemplo, Stech e Lorenzetti (1992) e Tundisi et al. (2004), em pesquisas no hemisfério sul, demonstraram o impacto das frentes frias, fenômeno frequente sobre o sul e no sudeste brasileiro, na mudança da estrutura termal e circulação das águas costeiras e de reservatórios, respectivamente.

Entende-se, por frente, a linha de contato entre duas massas de ar de qualidades diferentes, uma quente (massa Tropical Continental) e outra fria (massa Polar

Atlântica), formando uma instabilidade térmica e barométrica, sendo, portanto, uma zona de instabilidade (DEFFUNE, 1993; VAREJÃO-SILVA, 2001; GALLUCCI E NETTO, 2004). Muitos estudos têm sido realizados para seu entendimento, bem como sobre a energética de tais sistemas, porém, restam questões relevantes sobre a partição de energia entre modos, tanto verticais quanto horizontais, bem como a importância da resolução de análises e de modelos que simulam esses fenômenos (BONATTI, 2002). Com a passagem da frente fria, o aumento do estresse do vento é frequente (TUNDISI et al., 2007).

Os sistemas frontais deslocam-se acompanhados de ciclones e anticiclones móveis, alterando os campos de pressão atmosférica, de vento, e de outras variáveis atmosféricas ao longo da sua trajetória (WALLACE e HOBBS, 1977). O desenvolvimento de um ciclone inicia-se quando uma perturbação ondulatória leva ar quente para as altas latitudes e ar frio para as baixas latitudes, proporcionando uma troca de calor entre regiões quentes e frias (GAN, 1992).

Podem-se identificar ciclos de acordo com a penetração da massa Polar Atlântica (mPA) ao longo do ano todo, variando-se a intensidade e a duração das mesmas, sendo de maior frequência no inverno e na primavera (RODRIGUES et al., 2004). A sucessão de entradas de massas polares sobre o sudeste brasileiro permite ainda identificar o seu padrão cíclico, denominado por Monteiro (1967) de “sucessão encadeada de tipos de tempo”. Decorre desta sucessão, uma constituição de episódios de clima, que é a sequência de dias em que ocorre a atuação de uma massa de ar polar, podendo ser dividida em quatro fases distintas: 1. Prenúncio da penetração de uma massa Polar sobre a região definida; 2. Avanço da frente fria sobre a região (momento da entrada da frente e efetiva atuação da massa Polar); 3. Domínio da massa Polar e 4. Transição ou tropicalização da massa Polar. Essa divisão é profícua, pois, de acordo com a necessidade da análise climática, pode-se determinar a fase mais apropriada ou mais adequada à realização dos experimentos. Além do mais, os episódios podem ser determinados de acordo com a necessidade de cada estudo, sem perder a precisão e a representatividade dos dados meteorológicos, que, obedecendo à gênese do clima, permitem análise mais apurada e conclusões mais próximas da realidade concreta.

Estudos limnológicos recentes vêm demonstrando que esses distúrbios atmosféricos estão intimamente relacionados com a estratificação e com o comportamento de variáveis físicas, químicas e biológicas em reservatórios e que têm implicações na dinâmica

de populações fitoplanctônicas nesses ecossistemas (TUNDISI et al., 2004). De acordo com Brandini e Rebello (1994), De Jonge e Van Beusekom (1995), De Jonge (2000) e Gallucci e Netto (2004), a turbulência gerada por ventos fortes pode promover um aumento na concentração de clorofila-*a*, ressuspensão do sedimento e introdução de diatomáceas na coluna de água. Sendo assim, um estudo sobre esses sistemas tem fundamental importância no que se diz respeito ao gerenciamento de represas.

Segundo Tundisi et al. (2007), as pesquisas limnológicas deveriam relatar as observações climatológicas e a evolução e desenvolvimento das mudanças climáticas durante o período de estudo. Isto forneceria análises mais exatas para os eventos limnológicos dos ecossistemas de água doce e também ajudaria os limnólogos anteciparem as mudanças na estrutura termal e as consequências biológicas sob influência direta do clima.

Desde que os métodos de gerenciamento dos ecossistemas de água doce estão se tornando uma ferramenta importante para desenvolver cenários das mudanças presentes e futuras, observações climatológicas e medições deveriam ser incluídas nos modelos a fim de integrar estes eventos climatológicos na interpretação e funcionamento de lagos e reservatórios (LEGENDRE, 2003 apud TUNDISI et al., 2007).

Diante disto, este trabalho teve-se como objetivo estudar a influência das frentes frias nos mecanismos de funcionamento da represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) no município de Itirapina quanto à turbulência, estratificação, ressuspensão de nutrientes e respostas da alteração da comunidade e da biomassa fitoplanctônica, contribuindo, assim, para a compreensão dos fenômenos de circulação global dos sistemas aquáticos. Teve-se também como objetivo promover bases científicas para aprofundar e melhorar o gerenciamento de represas e a interface dos dados relativos às frentes frias com as respostas do reservatório dos pontos de vista físico, químico e biológico.

Por hipótese, admite-se que independentemente das estações do ano, a estrutura da comunidade fitoplanctônica e sua composição, bem como a disponibilidade de nutrientes e a distribuição das variáveis físicas e químicas são alteradas com a entrada e dissipação de uma frente fria.

## **2. OBJETIVOS**

---

1. Estudar a influência das frentes frias nos mecanismos de funcionamento da represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) quanto a:

- alteração da comunidade fitoplanctônica;
- desestratificação da coluna de água e na alteração da composição química e física da represa;

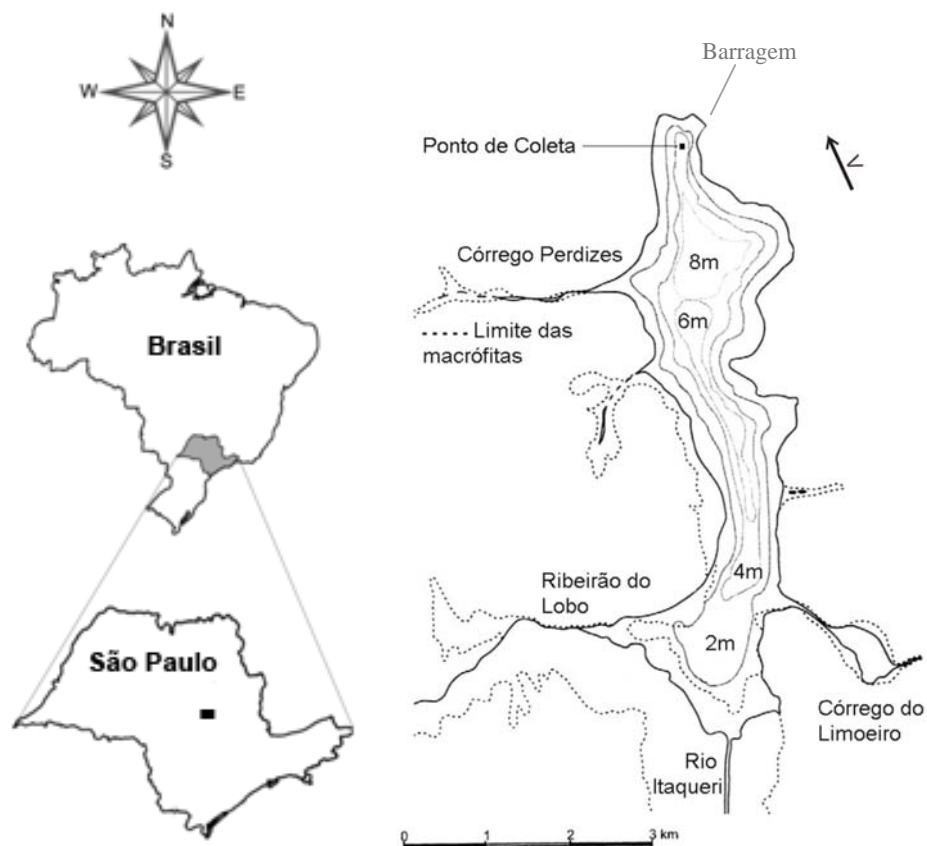
2. Contribuir para a compreensão dos fenômenos de circulação global dos sistemas aquáticos;

3. Promover bases científicas para aprofundar e melhorar o gerenciamento de represas e a interface dos dados relativos às frentes frias com as respostas do reservatório dos pontos de vista físico, químico e biológico.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

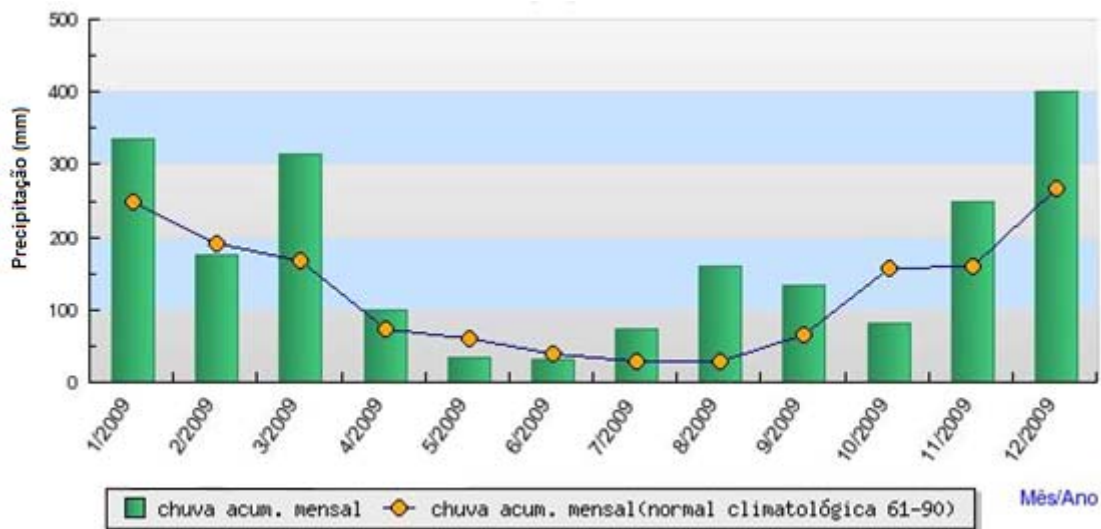
#### 3.1. Área de estudo

O presente estudo foi realizado na represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa). A represa está localizada na divisa dos municípios de Brotas e Itirapina, a 15 km de São Carlos, na região central do estado de São Paulo (Figuras 1 e 3). Geograficamente, encontra-se na coordenada 22<sup>o</sup>15' S e 47<sup>o</sup>49' O, altitude de 660 m em relação ao nível do mar.



**Figura 1:** Represa Carlos Botelho (Lobo/Broa): principais tributários, localização da barragem, limite de macrófitas, direção do vento predominante (v) e morfometria (TUNDISI et al., 2003). Coordenada do ponto de coleta: 22 ° 10' 08,5" S e 47 ° 57' 11,7" O.

Por classificação de Köppen (1931), o clima é influenciado pelas massas de ar equatoriais e tropicais, estando no limiar entre as classificações Aw e Cwa, isto é, caracterizado por períodos secos e frios de maio a outubro e quentes e chuvosos de novembro a abril, como mostra a Figura 2.



**Figura 2:** Dados de precipitação para o município de São Carlos no ano de 2009 (INMET, 2010).

A represa, com um volume acumulado de  $22 \times 10^6 \text{ m}^3$ , vem sendo usada atualmente em atividades de recreação como pesca esportiva e esporte náutico (TUNDISI et al., 2003) e geração de energia. É classificada como reservatório raso, com profundidade máxima de 12 metros e média de 3 metros.

A represa é alimentada pelo rio Itaqueri e pelo ribeirão do Lobo, com vazões médias de  $3,11$  e  $0,99 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , respectivamente (TUNDISI et al., 2003), bem como pelos córregos Geraldo, Carvão, Estiva e Perdizes (Figura 1) (TUNDISI et al., 2004).

**Tabela 1:** Características morfométricas da represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) (TUNDISI et al., 2004).

Represa UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa)	
Volume total de água	22 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Profundidade máxima	12 m
Profundidade média	3 m
Comprimento	7,0 km
Largura máxima	2,0 km
Perímetro	21 km
Área superficial	6,8 km <sup>2</sup>
Tempo de resid. médio	20 dias

A bacia do reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) pertence à bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré, e estende-se sobre uma área de 227,7 km<sup>2</sup> (SEBASTIEN, 2004). A bacia é intensamente utilizada para atividades agrícolas, como a monocultura de eucalipto, de cana-de-açúcar, para extração de areia e ocupação por condomínios. Como consequência direta destas ocupações, observa-se o aumento de descarga de esgoto doméstico e outros, bem como lixo no reservatório, causando impacto à qualidade da água (TUNDISI et al., 2003).

### 3.2. Local e período de amostragem

Para o presente trabalho, duas coletas foram realizadas: uma no verão, correspondente ao período da chuva (11 a 14/02/09) e outra no inverno, correspondente ao período de seca (10, 11, 12 e 14/08/09). Os dados foram coletados na coluna de água, obtendo-se o perfil vertical das variáveis físicas (transparência e temperatura), químicas (nutrientes, silicato reativo solúvel, íons, condutividade, oxigênio dissolvido, pH e sólidos totais dissolvidos) e biológicas (clorofila-*a*, feofitina e fitoplâncton) na represa. As amostragens foram realizadas em um ponto fixo, localizado na coordenada 22 ° 10' 08,5" S e 47 ° 57' 11,7" O (Figuras 3 e 4), sendo às profundidades de penetração de luz de 100%, 75%, 50%, 25%, 10%, 1% e zona afótica (10m).





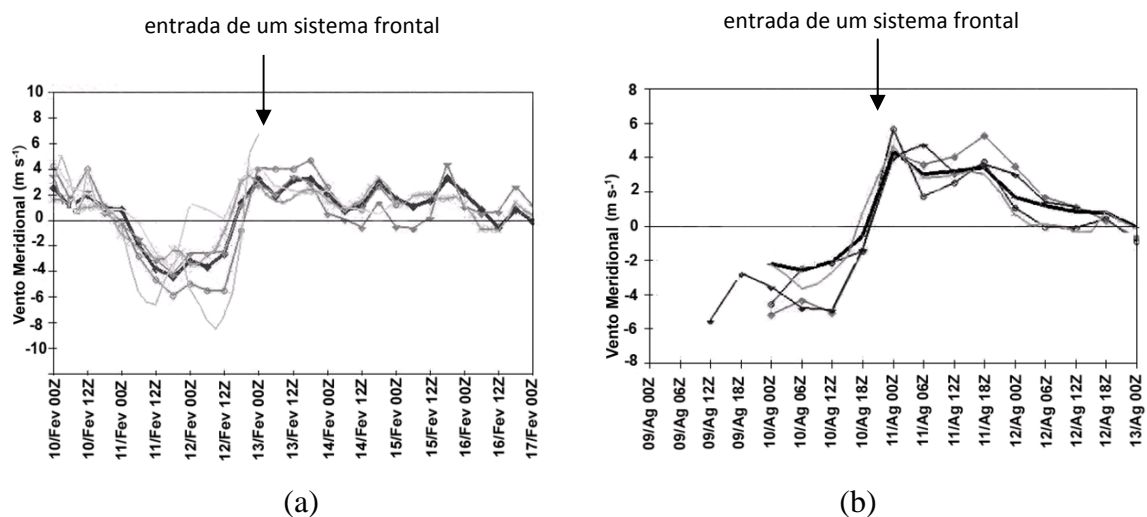
**Figura 3:** Represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) –  
Vista Panorâmica. Fonte: arquivos do IIE



**Figura 4:** Local de coleta. Coordenada 22 ° 10' 08,5" S e 47 ° 57' 11,7" O.

A escolha do período da coleta baseou-se em dados climatológicos e hidrológicos, análises das repartições climáticas, direção e velocidade do vento, precipitação, radiação solar, umidade relativa e pressão no local da coleta. As imagens de satélite foram obtidas no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, 2009) com o satélite GOES; a velocidade do vento e temperatura do ar foram obtidos na estação meteorológica da USP - CRHEA a partir do sistema de aquisição automático de dados tipo CR10X Campbell Scientific Inc.; o gráfico de velocidade do vento meridional foi obtido através de dados buscados na estação meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo – (IAG/USP, 2009) e os dados de precipitação foram buscados no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009).

A entrada das frentes frias foi acompanhada com o modelo de previsão obtido no IAG/USP a partir da velocidade do vento meridional (Figura 5), o qual é um dos principais parâmetros para a identificação da entrada de sistemas frontais. A entrada de vento meridional positivo (vento de sul), indica a entrada de um sistema frontal.



**Figura 5:** Velocidade do vento meridional. (a) No período da coleta do verão - fevereiro 2009; (b) no período da coleta do inverno - agosto 2009 (IAG/USP, 2009).

### 3.3. Variáveis físicas e químicas da água

Para a obtenção das variáveis física (temperatura) e químicas (condutividade, oxigênio dissolvido, pH e sólidos totais dissolvidos), utilizou-se uma sonda multi-paramétrica marca EUREKA, modelo Manta, no local mais profundo da represa (12 metros).

A transparência da coluna de água foi medida utilizando disco de Secchi, sendo que a zona eufótica foi calculada multiplicando-se a profundidade do disco de Secchi pelo fator 3,0 (WETZEL e LIKENS, 1991).

Para a análise das variáveis químicas (fósforo total, fosfato inorgânico, fosfato total dissolvido, nitrogênio, silicato reativo solúvel e íons), amostras foram coletadas com garrafas de Van Dorn para posterior quantificação em laboratório:

- Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)- analisado segundo APHA (1998).
- Silicato reativo solúvel - analisado segundo o método de molibdato de amônio (GOLTERMAN et al., 1978).
- Fósforo total - analisado de acordo com Valderrama (1981).
- Fosfato inorgânico dissolvido - analisado segundo Strickland e Parsons (1960).
- Fosfato total dissolvido - analisado segundo Strickland e Parsons (1960).
- Íons (fluoreto, brometo, cloreto, nitrito, nitrato, sulfato, amônio, potássio, magnésio e cálcio) - analisado pelo método de cromatografia por troca iônica, no aparelho de marca Dionex, modelo DX80, como descrito em APHA (1998).

### 3.4. Variáveis biológicas da água

Para a análise da clorofila-*a* e feofitina, amostras foram coletadas com garrafas de Van Dorn para posterior quantificação em laboratório:

- Clorofila-*a* e feofitina - utilizou-se a metodologia descrita por Nush (1980).

As amostras para a análise de clorofila-*a* foram filtradas em filtro Whatman GF/F de 47 mm de diâmetro com 0,7 µm de abertura de poro. A extração do pigmento foi feita com etanol 80% a quente (75 °C) por 5 minutos e posterior choque térmico, ficando em repouso por no mínimo de 6 horas e máximo de 24 horas a +4 °C no escuro. O extrato resultante foi lido nos comprimentos de onda 665 nm e 750 nm, na cubeta de 5 cm de caminho ótico, utilizando-se um espectrofotômetro marca Varian, modelo Cary 50 conc. A determinação da feofitina, na qual os valores são necessários para o cálculo final de clorofila-*a*, foi feita acidificando o extrato com 0,6mL de ácido clorídrico 37%, obtendo um pH em torno de 2,6 a 2,8. Após 30 minutos, as amostras foram novamente lidas nos mesmos comprimentos de onda.

Para a análise fitoplanctônica, amostras de água coletadas com garrafas de Van Dorn foram fixadas em formol 4% para posterior identificação e quantificação no microscópio invertido Zeiss modelo Axiovert 100 (Alemanha), aumento de 400 vezes (UTERMÖHL, 1958). O volume coletado para cada amostra foi de 100 mL. A razão de amostra:formol utilizada foi de 1:1.

A análise quantitativa dos organismos fitoplanctônicos foi feita utilizando sub amostras de 2 mL sedimentadas em câmaras de sedimentação de 100 mL. O tempo de sedimentação para cada amostra baseou-se no trabalho de De León et al. (1999), que consiste em um tempo de cerca de 2 horas para cada centímetro da altura da câmara.

As bibliografias utilizadas para identificação das algas foram: Bicudo e Bicudo (1970), Bicudo e Menezes (2006), Bourrely (1968 e 1972), Hino e Tundisi (1984), Huber-Pestalozzi (1968), Husted (1930), Lund e Lund (1995), Mizuno (1964), Prescott (1966), Streble e Krauter (1987).

Utilizou-se, também, uma sonda submersível com analisador automático de classes de microalgas marca BBE Moldaenke (Alemanha), modelo FluoroProbe.

O FluoroProbe BBE é um instrumento de medição altamente sensível para a análise da clorofila para a determinação de grupos fitoplanctônicos. Os perfis individuais durante as medidas são tomados para quatro grupos de fitoplâncton: Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Cyanophyceae e Chryptophyceae.

Isso permite a análise da ocorrência e distribuição dos grupos fitoplanctônicos no local sem a necessidade do laboratório. As possíveis interferências devido às substâncias amarelas são eliminadas por um fator de correção CDOM integrada.

O FluoroProbe pode rapidamente determinar o teor de clorofila para profundidades de até 1000 m. Os dados da medição podem ser exibidos em tempo real em um computador ou serem armazenados na sonda para avaliação posterior.

A fluorescência emitida principalmente pelas algas devido à excitação pela luz visível deve-se à presença de clorofila nos grupos fitoplanctônicos. A ocorrência de outros pigmentos é típico para as diferentes classes de algas. Interações entre esses diferentes sistemas de pigmentos com clorofila resulta em um espectro de excitação especial para as classes taxonômicas de algas.

Os padrões especiais desta fluorescência das algas - também chamadas impressões digitais - são utilizados na sonda para a quantificação de diferentes classes de algas. As fontes de luz de excitação são LEDs com diferentes comprimentos de onda.

A contaminação por outros grupos que emitem fluorescência semelhante, porém, é a principal desvantagem da utilização da sonda. O grupo das Cryptophyceae, por exemplo, pode ser contaminado pelo grupo das Crysophyceae, que emite em comprimento de onda semelhante.

### 3.5. Tratamento dos dados

Para melhor representar a estabilidade térmica, utilizou-se o parâmetro conhecido como Resistência Térmica Relativa (RTR). Quanto maior for o seu valor, maior será a estabilidade térmica do ambiente, indicando a sua resistência à circulação vertical. A RTR foi calculada a partir da razão entre a diferença na densidade da água entre o estrato inferior e o superior de uma camada de água e a diferença na densidade da água à temperatura de 5°C e 4°C (WETZEL, 1983), segundo a fórmula:

$$RTR = (d_2 - d_1) / 8 \cdot 10^{-6}$$

onde:

$d_1$  = densidade da água do estrato inferior;

$d_2$  = densidade da água do estrato superior.

As variáveis física (temperatura), químicas (condutividade, oxigênio dissolvido, pH e TDS) e clorofila-*a* foram analisadas com o software Surfer 8 (Golden Software, Inc.), pelo qual se pôde comparar e analisar o comportamento das variáveis ambientais em função da profundidade e dos dias de coleta, acompanhando a passagem das frentes frias.

No tratamento estatístico utilizaram-se os dados de nutrientes para verificar se houve diferenças significativas das concentrações entre os dias de coleta. O teste de Shapiro e Wilk (1965) foi utilizado para verificar a normalidade dos dados. O teste de Bartlett (1937) foi utilizado para verificar a homocedasticidade dos dados.

Aplicou-se a análise de variância (ANOVA) para os dados que preencheram os pressupostos da análise (normalidade e homocedasticidade) de acordo com Zar (1999) e Vieira (2006). Para a análise de comparação múltipla utilizou-se teste de Tukey para avaliar as diferenças das variáveis limnológicas selecionadas entre os dias de amostragem.

Nos dados não-paramétricos, onde os dados não eram normalmente distribuídos e/ou variância desigual, realizou-se análise de Kruskal-Wallis (ZAR, 1999) e de comparação múltipla de Mann-Whitney para avaliar as diferenças das variáveis limnológicas selecionadas entre os dias de amostragem.

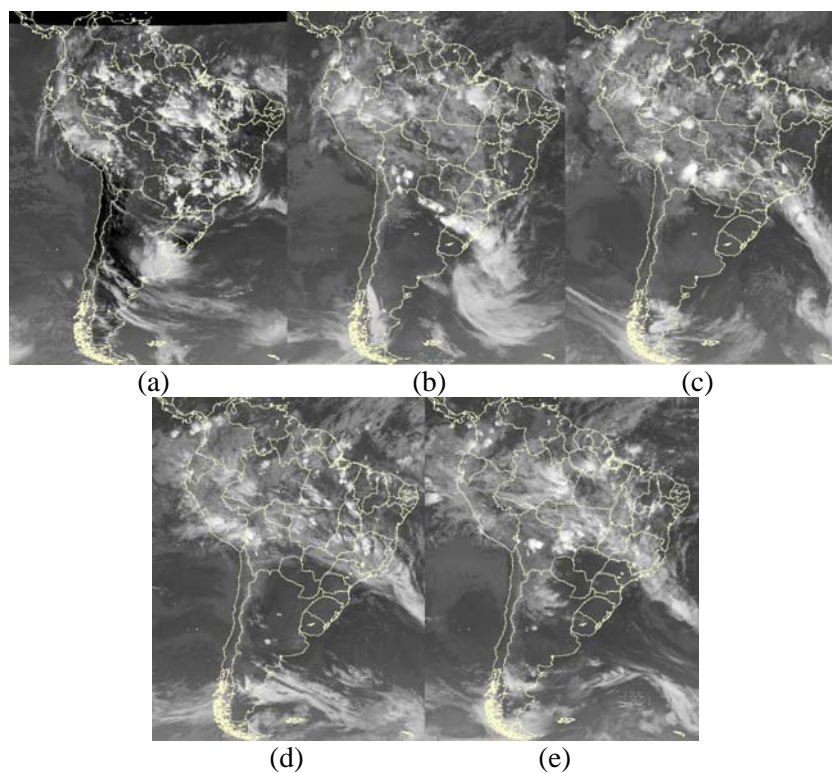
Para os testes estatísticos foi utilizado um nível de significância de 5%.

## 4. RESULTADOS

---

### 4.1. Imagens de satélite

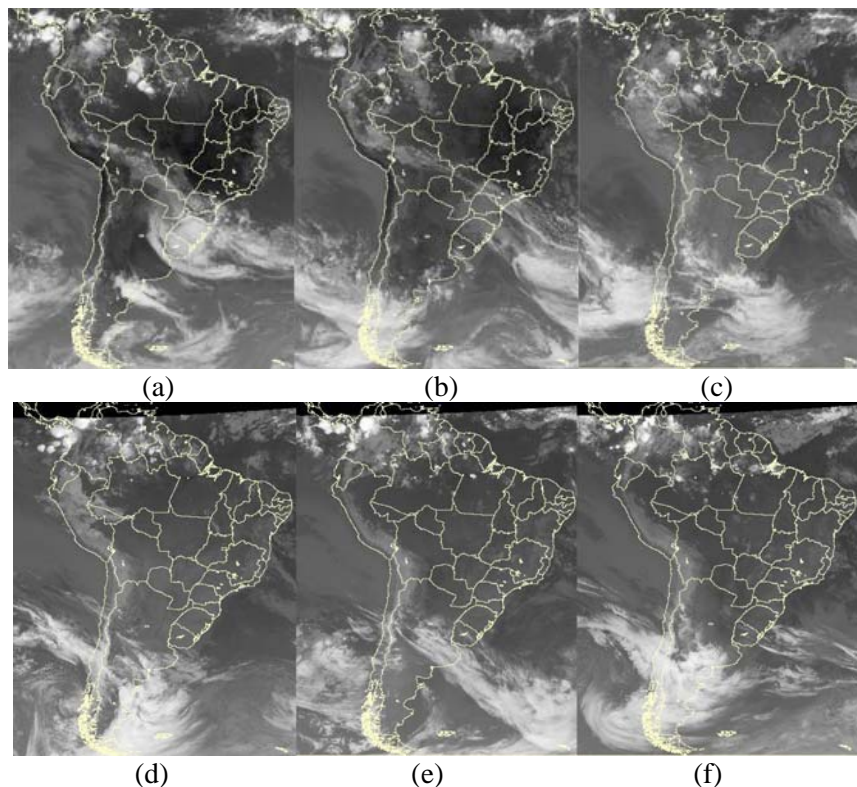
A partir das imagens de satélite obtidas nos dias coleta realizada no verão, pôde-se confirmar a passagem da frente fria sobre o sudeste brasileiro. A Figura 6a, dia 10/02/09, representa o prenúncio da frente fria. Na Figura 6b, dia 11/02/09, pode-se observar o avanço da frente fria no estado de São Paulo. Este dia, mais exatamente no final do dia, foi marcado pela entrada da frente fria no estado de São Paulo. Na Figura 6c, dia 12/02/09, observa-se a fase de domínio da massa Polar no estado de São Paulo. Na Figura 6d, dia 13/02/09, observa-se o domínio da massa Polar no estado de São Paulo. Na Figura 6e, dia 14/02/09, observa-se a dissipação da frente fria, tropicalização.



**Figura 6:** Sequência das imagens de satélite nas quais observa-se a entrada, propagação e dissipação de uma frente fria nos dias 10 a 14/02/09; GOES. (a) Dia 10/02/09: prenúncio; (b) dia 11/02/09: avanço da frente fria no estado de São Paulo; (c) dia 12/02/09: domínio da massa Polar no estado de São Paulo; (d) dia 13/02/09: domínio da massa Polar no estado de São Paulo; (e) dia 14/02/09: dissipação da frente fria, tropicalização (CPTEC, 2009).



A Figura 7 representa as imagens de satélite obtidas posteriormente à coleta realizada no inverno onde pôde-se confirmar a passagem da frente fria sobre o sudeste brasileiro. A Figura 7a, dia 09/08/09, representa a fase de prenúncio da frente fria. Na Figura 7b, dia 10/08/09, pode-se observar ainda o prenúncio e início do avanço da frente fria no estado de São Paulo. Na Figura 7c, dia 11/08/09, observa-se a fase de domínio da massa Polar no estado de São Paulo. Na Figura 7d, dia 12/08/09, observa-se o início da tropicalização da massa Polar no estado de São Paulo. Na Figura 7e, dia 14/08/09, observa-se o estado de São Paulo sob domínio da massa Tropical. Neste estágio, a frente fria já se dissipou por completo.

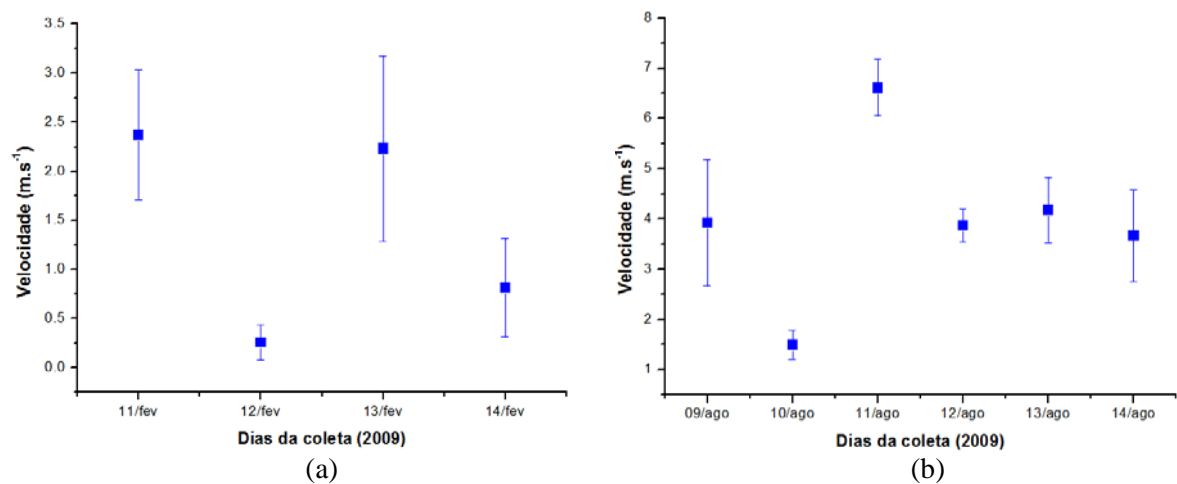


**Figura 7:** Sequência das imagens de satélite nas quais observa-se a entrada, propagação e dissipação de uma frente fria nos dias 09 a 14/08/09; GOES. (a) Dia 09/08/09: prenúncio; (b) dia 10/08/09: prenúncio/avanço da frente fria no estado de São Paulo; (c) dia 11/08/09: domínio da massa Polar no estado de São Paulo; (d) dia 12/08/09: dissipação da frente fria; (e) dia 13/08/09: tropicalização; (f) dia 14/08/09: estado de São Paulo sob domínio da Massa Tropical (CPTEC, 2009).

## 4.2. Variáveis físicas e químicas

### 4.2.1. Velocidade do vento

Na Figura 8a observa-se a velocidade do vento nos dias que antecederam a passagem da frente fria, bem como a chegada da frente fria e os dias posteriores à chegada da frente fria durante a coleta de verão. Na Figura 8b observa-se a velocidade do vento nos dias que antecederam a passagem da frente fria, a chegada da frente fria e os dias posteriores à chegada da frente fria durante a coleta de inverno.



**Figura 8:** Velocidade do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ). (a) Coleta de verão; (b) coleta de inverno (CHREA, 2009).

As Figuras 9 e 10 referem-se à represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) no dia anterior e no dia da chegada da frente fria, respectivamente.



**Figura 9:** Ponto de coleta – antes da chegada de frente fria.



**Figura 10:** Ponto de coleta – durante a chegada de frente fria.

A velocidade do vento variou de quase  $0,0 \text{ m.s}^{-1}$  nos dias 12 de fevereiro e 10 de agosto a  $3,0 \text{ m.s}^{-1}$  nos dias 11 e 13 de fevereiro e  $7 \text{ m.s}^{-1}$  no dia 11 de agosto. Pode-se observar que logo antes da entrada da frente fria ocorreu a diminuição da velocidade do vento para valores próximos a zero, voltando a aumentar nos dias subsequentes, juntamente com a passagem da frente fria. Rodrigues et al. (2004) também encontraram velocidade quase nula logo antes da entrada da frente fria. Tundisi et al. (2004; 2006; 2007) verificaram que após as passagens das frentes frias há um período de calmaria caracterizado por uma estabilidade térmica, química e biológica nos sistemas aquáticos. Neste estudo, nas Figuras 8a e 8b observa-se uma diminuição da velocidade do vento com a dissipação das frentes frias. Na Figura 8b nota-se uma constante na velocidade do vento nos dias 12, 13 e 14 de agosto.

#### 4.2.2. Temperatura do ar

Na Tabela 2 observa-se a temperatura do ar nos 4 dias de coleta de verão e de inverno.

**Tabela 2:** Temperatura do ar na coleta de verão e inverno (CHREA, 2009).

Temperatura do ar		Temperatura do ar	
11/fev	27°C	10/ago	19°C
12/fev	25°C	11/ago	14,5°C
13/fev	20°C	12/ago	10°C
14/fev	20,8°C	14/ago	17°C

Na coleta de verão a temperatura foi mais alta ( $27^{\circ}\text{C}$ ) no primeiro dia, diminuindo até o terceiro dia de coleta. No quarto dia de coleta observou-se um ligeiro aumento da temperatura.

Na coleta de inverno a temperatura foi mais alta ( $19^{\circ}\text{C}$ ) no primeiro dia, diminuindo até o terceiro dia de coleta, chegando a  $10^{\circ}\text{C}$ . No quarto dia de coleta a temperatura começou a aumentar.

#### 4.2.3. Precipitação

Na Tabela 3 observa-se a ausência ou presença de precipitação nos dias de coleta.

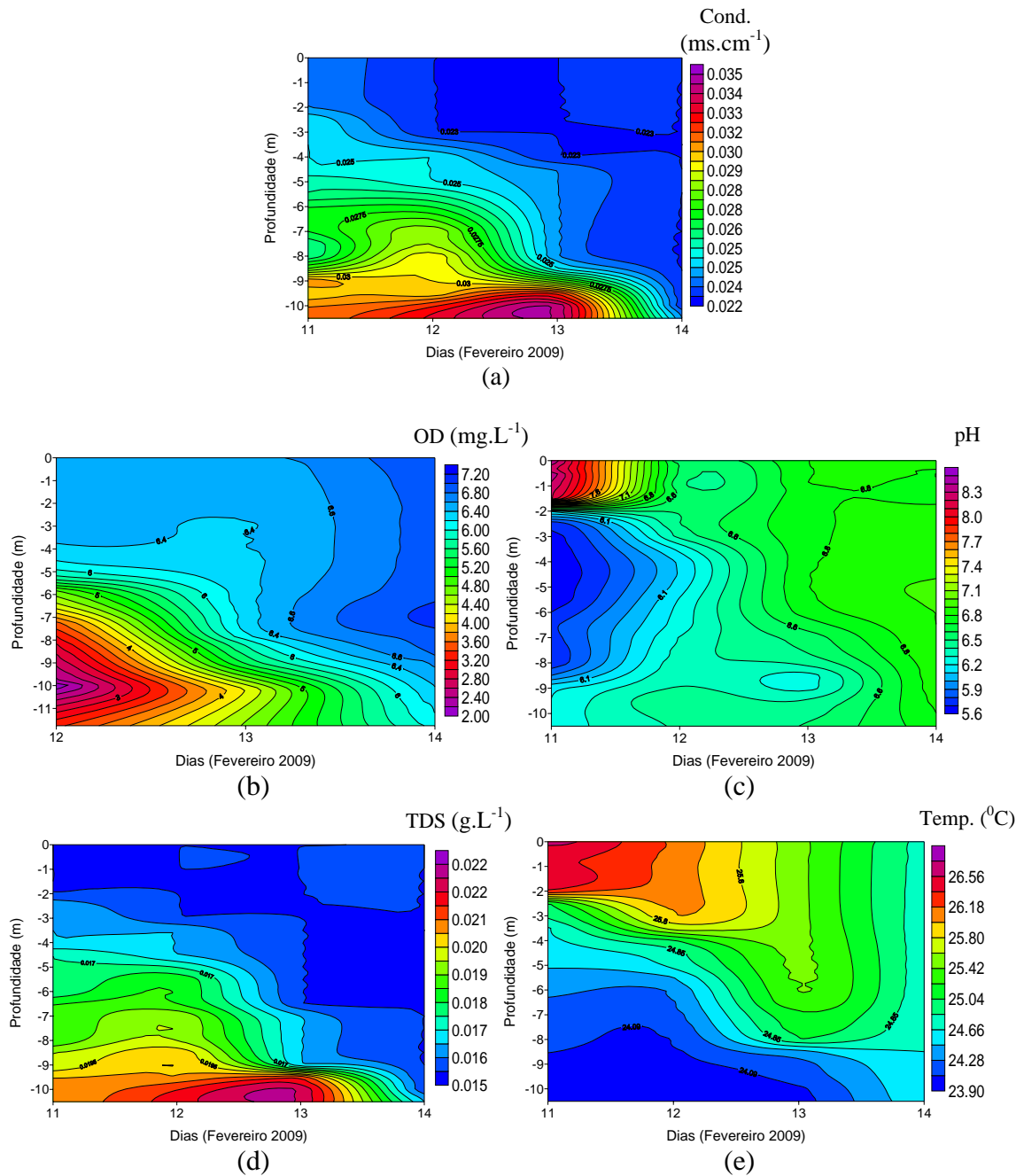
**Tabela 3:** Precipitação nos períodos de coleta

Verão		Inverno	
dia	precipitação	dia	precipitação
11/fev	não	10/ago	não
12/fev	sim	11/ago	não
13/fev	sim	12/ago	não
14/fev	sim	14/ago	não

Na coleta de verão ocorreu precipitação nos dias 12, 13 e 14 de fevereiro. Na coleta de inverno não houve precipitação no período de coleta.

4.2.4. Condutividade, Oxigênio Dissolvido (OD), pH, Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) e temperatura da água.

Observa-se na Figura 11 o perfil vertical da coluna de água de variáveis física e químicas na coleta de verão. As Figuras 11a, 11b, 11c, 11d e 11e representam, respectivamente, os perfis verticais de condutividade ( $\text{ms.cm}^{-1}$ ), oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), pH, sólidos totais dissolvidos ( $\text{g.L}^{-1}$ ) e temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) medidos com sonda multiparamétrica.

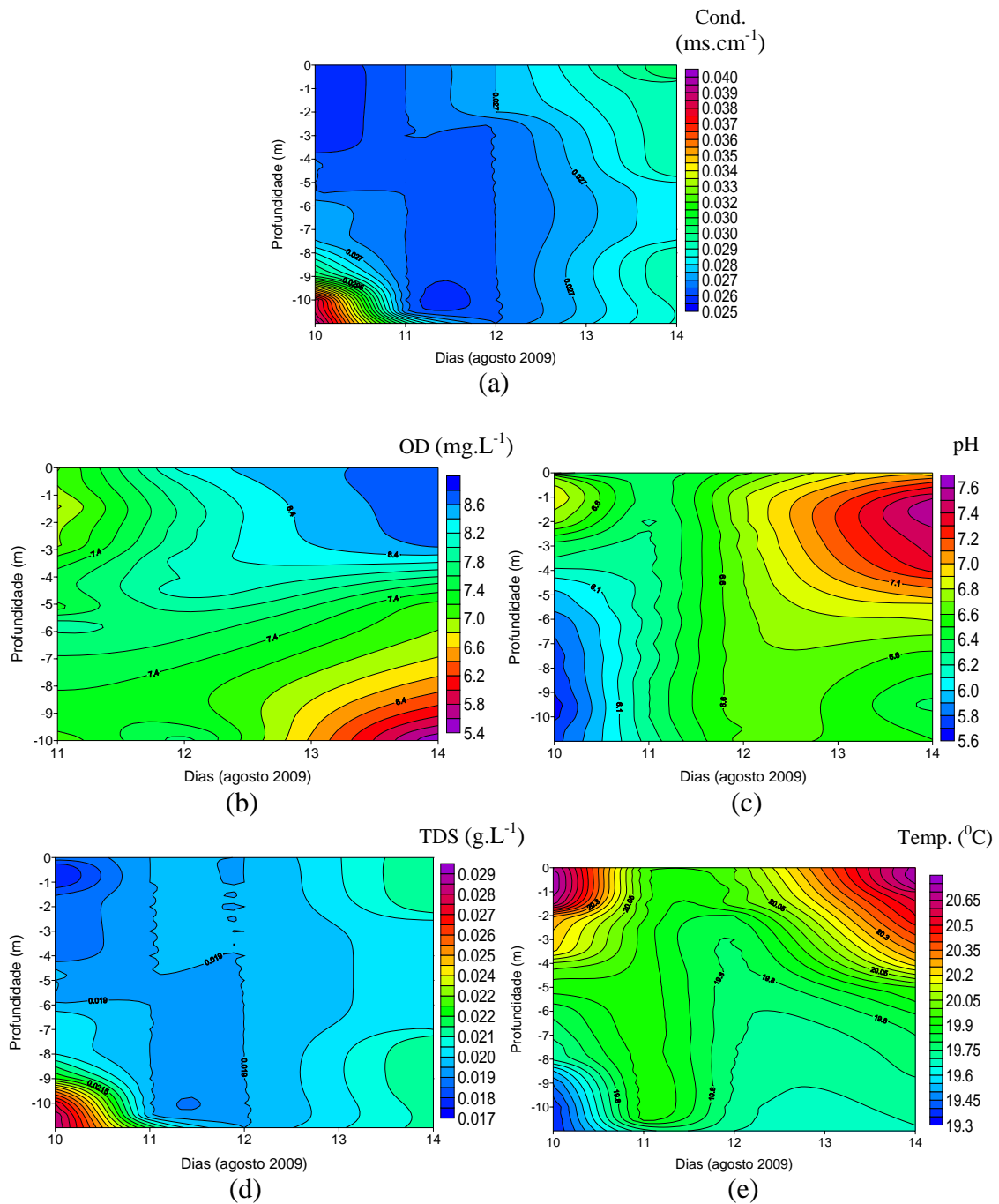


**Figura 11:** Perfil vertical da coluna de água de variáveis física e químicas nos dias 11, 12, 13 e 14/02/09. (a) Condutividade (ms.cm<sup>-1</sup>); (b) oxigênio dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>); (c) pH; (d) sólidos totais dissolvidos (g.L<sup>-1</sup>) e (e) temperatura (°C).

Todas as variáveis observadas apresentaram estratificações evidentes no dia 11 de fevereiro. A partir do dia 12, a estratificação da coluna de água passou a diminuir, tornando-se praticamente homogênea no dia 14, o último dia de coleta.

- Condutividade: a condutividade elétrica variou no período de estudo, no primeiro dia de coleta, de  $0,024 \text{ ms.cm}^{-1}$  na superfície a  $0,031 \text{ ms.cm}^{-1}$  no fundo da represa. No segundo dia de coleta, obteve-se variações de  $0,023 \text{ ms.cm}^{-1}$  na superfície a  $0,03 \text{ ms.cm}^{-1}$  no fundo. No terceiro dia de coleta, observou-se variações de  $0,023 \text{ ms.cm}^{-1}$  a  $0,034 \text{ ms.cm}^{-1}$ . No último dia de coleta, a condutividade elétrica se manteve a  $0,023 \text{ ms.cm}^{-1}$  em toda a coluna de água.
- Oxigênio Dissolvido (OD): o OD, no segundo dia de coleta, variou de  $6,55 \text{ mg.L}^{-1}$  na superfície a  $2,01 \text{ mg.L}^{-1}$  no fundo da represa; no terceiro dia de coleta, a concentração variou de  $6,46 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $4,19 \text{ mg.L}^{-1}$ ; já no último dia de coleta, a variação foi de  $6,97 \text{ mg.L}^{-1}$  na superfície para  $6,07 \text{ mg.L}^{-1}$  no fundo da represa.
- pH: no primeiro dia de coleta, encontrou-se valores de pH na superfície de 8,4; na profundidade de 4,5 metros, encontrou-se o menor valor, de 5,61; a partir desta profundidade o pH voltou a subir, até o valor de 6,24. No segundo dia de coleta, o pH variou de 6,49 a 6,51. No terceiro dia, o pH variou de 6,8 a 6,51. No último dia de coleta, o pH iniciou-se em 6,84, chegando a 6,76 no fundo da represa.
- Sólidos Totais Dissolvidos (TDS): a concentração de TDS variou no primeiro e no segundo dia de coleta de  $0,015 \text{ g.L}^{-1}$  na superfície a  $0,02 \text{ g.L}^{-1}$  no fundo. No terceiro dia de coleta variou de  $0,015 \text{ g.L}^{-1}$  a  $0,022 \text{ g.L}^{-1}$ . Já no último dia de coleta a concentração manteve-se constante em  $0,015 \text{ g.L}^{-1}$ .
- Temperatura: a temperatura, no primeiro dia de coleta variou de  $26,71 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $23,91 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . No segundo dia de coleta, a variação foi de  $26,14 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $24,01 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . No terceiro dia de coleta, a variação encontrada foi de  $25,48 \text{ }^{\circ}\text{C}$  na superfície a  $24,01 \text{ }^{\circ}\text{C}$  no fundo. Já no último dia de coleta, obteve-se variação de  $24,76 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $24,62 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A Figura 12 representa o perfil vertical da coluna de água para variáveis física e químicas na coleta de inverno. As Figuras 12a, 12b, 12c, 12d e 12e representam, respectivamente, os perfis verticais de condutividade ( $\text{ms.cm}^{-1}$ ), oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), pH, sólidos totais dissolvidos ( $\text{g.L}^{-1}$ ) e temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) medidos com sonda multiparamétrica.



**Figura 12:** Perfil vertical da coluna de água de variáveis física e químicas nos dias 10, 11, 12 e 14/08/09. (a) Condutividade ( $\text{ms.cm}^{-1}$ ); (b) oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); (c) pH; (d) sólidos totais dissolvidos ( $\text{g.L}^{-1}$ ) e (e) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

No dia 10 de agosto pode-se observar uma pequena estratificação da coluna de água. Esta estratificação é mais visível na Figura 12e, que corresponde a temperatura.



Do dia 11 ao dia 12 de agosto, toda a coluna tornou-se homogênea para todas as variáveis. A estratificação recomeçou a se formar no dia 13 de agosto, tornando-se ainda mais visível no último dia de coleta, dia 14.

- Condutividade: a condutividade elétrica variou no período de estudo, no primeiro dia de coleta, de  $0,025 \text{ ms.cm}^{-1}$  na superfície a  $0,039 \text{ ms.cm}^{-1}$  no fundo da represa. Já no segundo dia de coleta, encontrou-se valores de  $0,026 \text{ ms.cm}^{-1}$  em toda a coluna de água. No terceiro dia de coleta, quase não houve variações, iniciando com valores de  $0,027 \text{ ms.cm}^{-1}$  na superfície e no fundo com  $0,026 \text{ ms.cm}^{-1}$ . No último dia de coleta, a condutividade elétrica encontrada foi de  $0,030 \text{ ms.cm}^{-1}$  na superfície a  $0,028$  no fundo  $\text{ms.cm}^{-1}$ .

- Oxigênio Dissolvido (OD): o OD, no segundo dia de coleta variou de  $6,98 \text{ mg.L}^{-1}$  na superfície a  $7,07 \text{ mg.L}^{-1}$  no fundo da represa; no terceiro dia de coleta, a concentração variou de  $8,30 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $8,14 \text{ mg.L}^{-1}$ ; já no último dia de coleta, a variação encontrada foi maior, de  $8,69 \text{ mg.L}^{-1}$  na superfície a  $5,40 \text{ mg.L}^{-1}$  no fundo da represa.

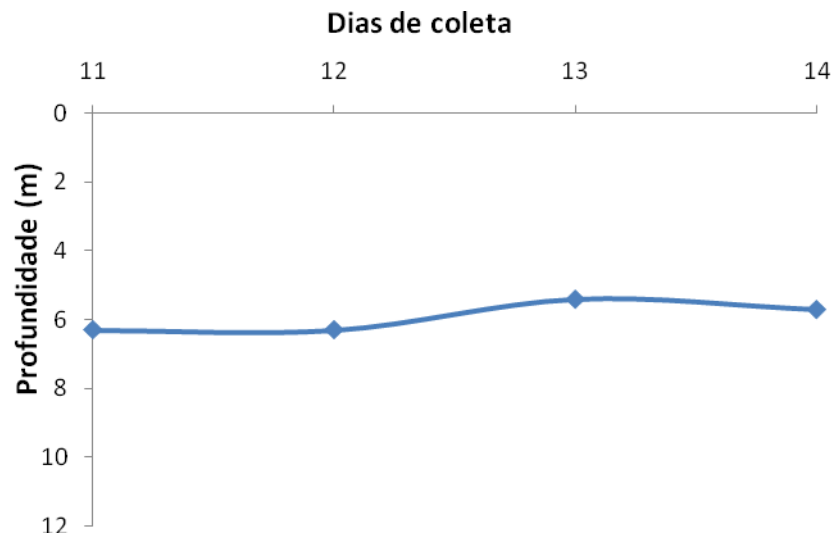
- pH: no primeiro dia de coleta, encontrou-se valores de pH na superfície de 6,10 a 5,76 no fundo. No segundo dia de coleta, o pH variou de 6,32 a 6,27. No terceiro dia, o pH variou de 6,56 a 6,64. No último dia de coleta, o pH iniciou-se em 6,99, chegando a 6,36 no fundo da represa.

- Sólidos Totais Dissolvidos (TDS): a concentração de TDS variou no primeiro dia de coleta de  $0,018 \text{ g.L}^{-1}$  na superfície a  $0,028 \text{ g.L}^{-1}$  no fundo. No segundo e terceiro dia de coleta, encontrou-se a concentração de  $0,019 \text{ g.L}^{-1}$  em toda a coluna de água. No último dia de coleta a concentração manteve-se constante em  $0,021 \text{ g.L}^{-1}$ .

- Temperatura: a temperatura, no primeiro dia de coleta variou de  $20,71 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $19,35 \text{ }^\circ\text{C}$ . No segundo dia de coleta, a variação foi de  $19,98 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $19,93 \text{ }^\circ\text{C}$ . No terceiro dia de coleta, a variação encontrada foi de  $20,00 \text{ }^\circ\text{C}$  na superfície a  $19,70 \text{ }^\circ\text{C}$  no fundo. Já no último dia de coleta, obteve-se variação de  $20,72 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $19,73 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 4.2.5. Zona eufótica

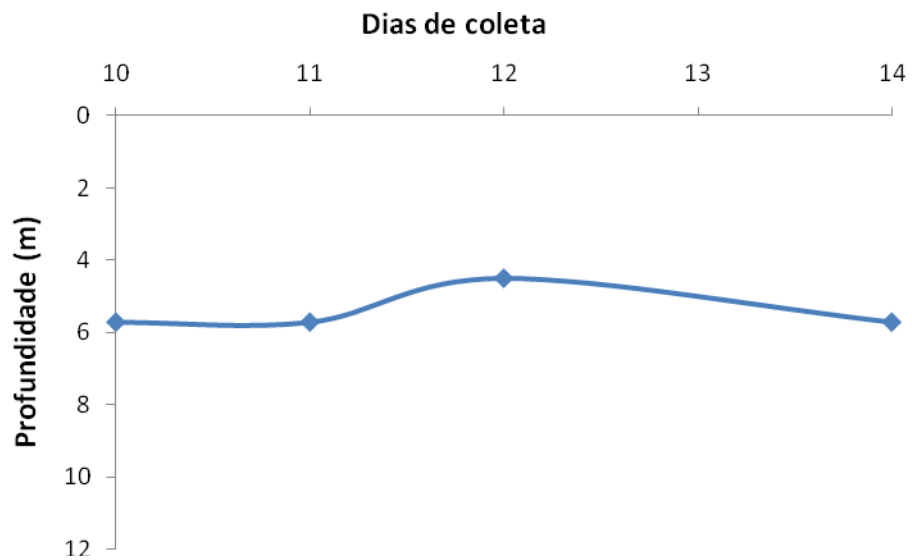
Na Figura 13 estão apresentados os limites da zona eufótica medidos com o auxílio do disco de Secchi para a coleta de verão.



**Figura 13:** Variação na zona eufótica medida nos dias 11, 12, 13 e 14 de fevereiro de 2009 na represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa).

Nos dias 11 e 12 observaram-se os maiores valores da zona eufótica (6,3 m), seguido do dia 14 (5,7 m). O dia 13 apresentou o menor valor da zona eufótica (5,4 m).

Observa-se na Figura 14 os limites da zona eufótica medidos com o auxílio do disco de Secchi para a coleta de inverno.

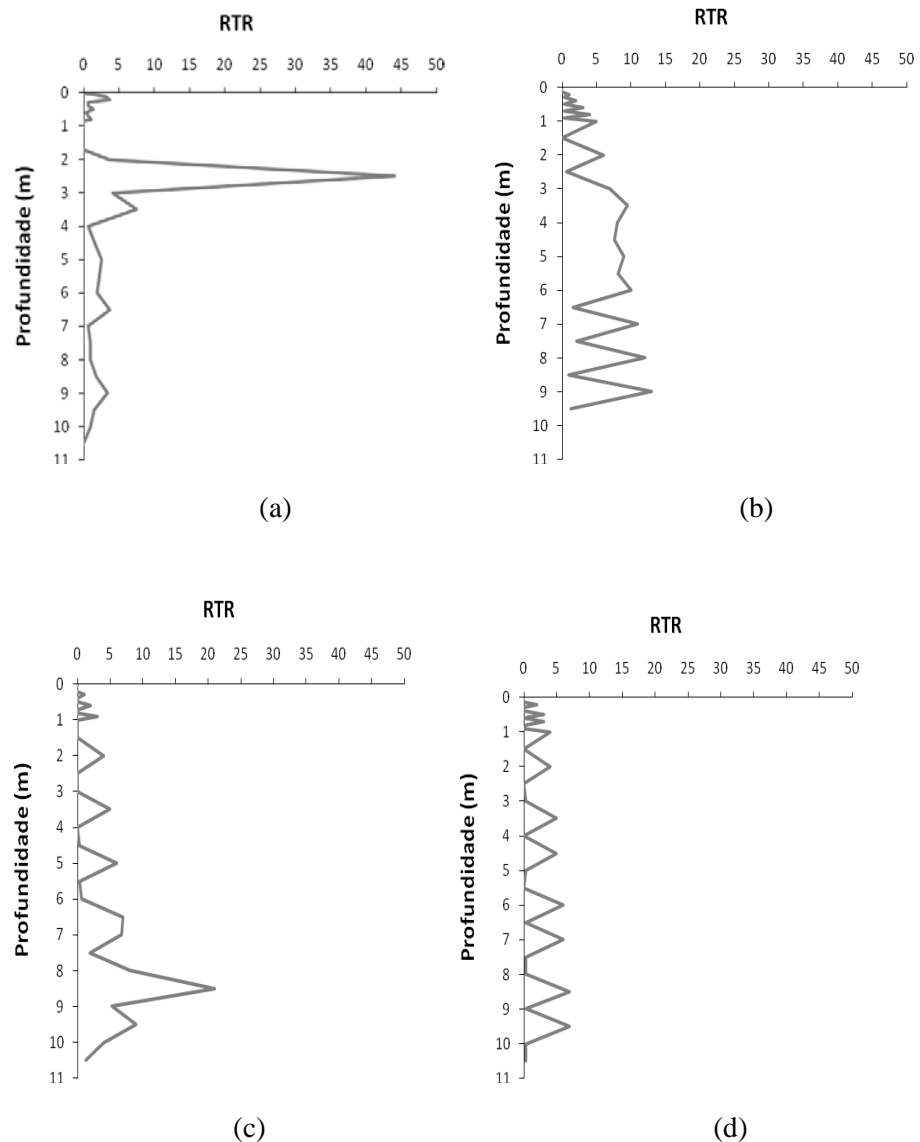


**Figura 14:** Variação na zona eufótica medida nos dias 10, 11, 12 e 14 de agosto de 2009 na represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa).

Nos dias 10, 11 e 14 observaram-se os maiores valores da zona eufótica (5,7 m). O dia 13 apresentou o menor valor da zona eufótica (4,5 m).

#### 4.2.6. Resistência Térmica Relativa (RTR).

Observa-se nas Figuras 15a, 15b, 15c e 15d a resistência térmica relativa da coluna de água na coleta de verão.



**Figura 15:** Resistência Térmica Relativa (RTR) na coleta de verão. (a) Dia 11/02/09; (b) dia 12/02/09; (c) dia 13/02/09 e (d) dia 14/02/09.

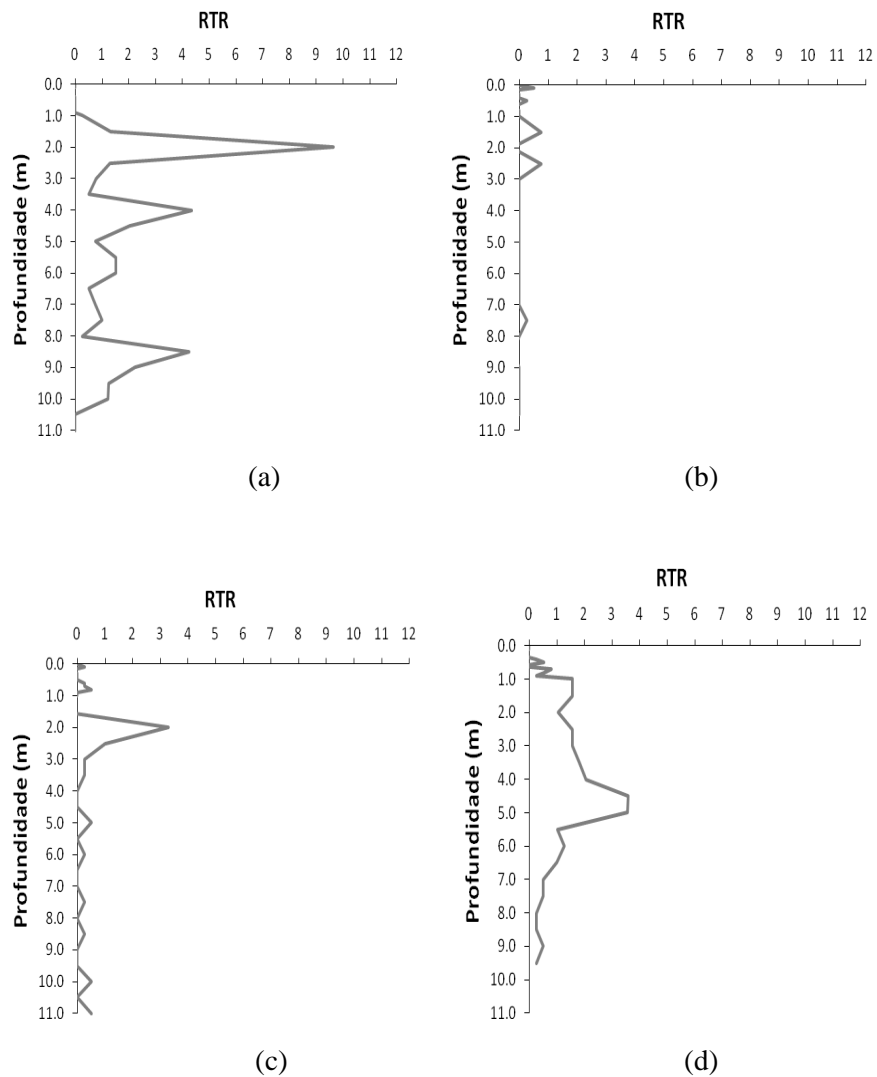
No período de verão, a resistência térmica relativa foi maior no primeiro dia de coleta, alcançando cerca de 45 na profundidade de 2 a 3 metros. No segundo dia de coleta, houve uma diminuição da RTR, não chegando a 15. A menor RTR encontrada foi no quarto dia de coleta, cujo valor mais alto não ultrapassou de 8.

Pode-se observar nas Figuras 16a, 16b, 16c e 16d a resistência térmica relativa da coluna de água na coleta de inverno.

Assim como observado no verão, a maior resistência térmica relativa foi encontrada no primeiro dia de coleta de inverno, porém, o valor encontrado foi muito inferior

ao encontrado no verão. No inverno, o valor encontrado mais alto não ultrapassou de 10. Este ponto da coluna localizava-se na profundidade de cerca de 2 metros.

No segundo dia observou-se a resistência térmica relativa mais baixa na coluna de água como um todo, não ultrapassando de 1.



**Figura 16:** Resistência Térmica Relativa (RTR) na coleta de inverno. (a) Dia 10/08/09; (b) dia 11/08/09; (c) dia 12/08/09 e (d) dia 14/08/09.

4.2.7. Composição iônica da água da represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa)

Na Tabela 4 e 5 observam-se os valores encontrados das concentrações dos principais cátions e ânions, respectivamente, na coleta de verão.

**Tabela 4:** Valores dos principais ânions analisados durante a coleta de verão.

		CONCENTRAÇÃO DE ÂNIONS					
		Fluoreto	Cloreto	Nitrito	Brometo	Nitrato	Sulfato
		( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	( $\text{mg.L}^{-1}$ )	( $\mu\text{g-N.L}^{-1}$ )	( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	( $\mu\text{g-N.L}^{-1}$ )	( $\text{mg-SO}_4^{-2}.\text{L}^{-1}$ )
11.02.09	100% Luz	20,63	2,65	<L.D.	2,08	3,15	0,12
	75% Luz	7,88	2,52	<L.D.	2,08	2,83	0,11
	50% Luz	4,56	3,45	<L.D.	2,08	5,22	0,16
	25% Luz	10,08	3,54	<L.D.	2,08	2,48	0,19
	10% Luz	11,97	3,00	<L.D.	2,28	2,62	0,21
	1% Luz	6,77	3,80	<L.D.	2,08	6,39	0,20
	Afótico	23,54	3,84	<L.D.	2,57	0,81	0,29
12.02.09	100% Luz	24,69	3,61	<L.D.	2,08	1,95	0,11
	75% Luz	21,79	4,44	<L.D.	2,08	1,51	0,10
	50% Luz	18,90	3,89	<L.D.	2,08	10,40	0,11
	25% Luz	25,23	3,58	<L.D.	2,08	2,96	0,15
	10% Luz	12,22	2,81	<L.D.	2,08	5,58	0,18
	1% Luz	14,72	3,67	<L.D.	2,08	2,53	0,19
	Afótico	23,80	2,94	<L.D.	2,08	1,08	0,18
13.02.09	100% Luz	10,56	9,71	<L.D.	9,45	<L.D.	0,12
	75% Luz	18,08	4,43	<L.D.	2,08	1,66	0,13
	50% Luz	16,83	5,87	<L.D.	2,08	0,44	0,11
	25% Luz	17,55	6,66	<L.D.	2,08	<L.D.	0,10
	10% Luz	18,66	4,03	<L.D.	2,08	0,96	0,11
	1% Luz	20,10	6,34	<L.D.	2,08	2,20	0,12
	Afótico	20,03	6,26	<L.D.	2,08	4,94	0,17
14.02.09	100% Luz	6,92	33,13	<L.D.	2,08	2,90	0,13
	75% Luz	6,19	24,56	<L.D.	2,08	5,70	0,16
	50% Luz	10,38	6,40	<L.D.	2,08	1,68	0,12
	25% Luz	16,66	6,42	<L.D.	2,08	0,66	0,12
	10% Luz	7,31	5,34	<L.D.	2,08	0,70	0,12
	1% Luz	14,91	6,14	<L.D.	2,08	0,54	0,12
	Afótico	6,95	5,68	<L.D.	2,08	0,03	0,12

<L.D. – abaixo do limite de detecção.

Não foi detectada a presença de nitrito em toda a coluna de água nos quatro dias de coleta de verão. Baseado na análise de variância (ANOVA), não houve diferença significativa nas concentrações de brometo, nitrato e sulfato.

Detectaram-se diferenças significativas nas concentrações dos seguintes ânions:

- Fluoreto : Dia 12 diferenciou-se significativamente dos dias 11 (um critério - ANOVA -  $p = 0,03$ ;  $F = 5,82$ ) e 14 (um critério - ANOVA -  $p = 0,005$ ,  $F = 5,82$ ). As médias ( $\pm$  DP) encontrados foram: 11/02 =  $12,20 \pm 7,19 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; 12/02 =  $20,19 \pm 5,10 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; 13/02 =  $17,40 \pm 3,25 \mu\text{g.L}^{-1}$  e 14/02 =  $9,90 \pm 4,26 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

- Cloreto: Dia 11 diferenciou-se significativamente dos dias 13 (Kruskal Wallis –  $p = 0,002$ ) e 14 (Kruskal Wallis –  $p = 0,002$ ). O dia 12 diferenciou-se significativamente dos dias 13 (Kruskal Wallis –  $p = 0,004$ ) e 14 (Kruskal Wallis –  $p = 0,002$ ). As médias ( $\pm$  DP) encontrados foram: 11/02 =  $3,25 \pm 0,53\text{mg.L}^{-1}$ ; 12/02 =  $3,56 \pm 0,55 \text{mg.L}^{-1}$ ; 13/02 =  $6,18 \pm 1,84 \text{mg.L}^{-1}$  e 14/02 =  $12,52 \pm 11,42 \text{mg.L}^{-1}$ .

**Tabela 5:** Valores dos principais cátions analisados durante a coleta de verão.

		CONCENTRAÇÃO DE CÁTIONS					
		Lítio ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Sódio ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Amônio ( $\mu\text{g-N.L}^{-1}$ )	Potássio ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Magnésio ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Cálcio ( $\text{mg.L}^{-1}$ )
11.02.09	100% Luz	0,16	1,51	0,30	0,45	0,27	0,12
	75% Luz	0,08	1,46	1,18	0,51	0,26	0,10
	50% Luz	0,08	1,83	0,59	0,56	0,28	0,12
	25% Luz	<L.D.	1,90	0,59	0,55	0,30	0,13
	10% Luz	0,08	1,72	0,30	0,55	0,29	0,12
	1% Luz	0,08	2,02	0,30	0,58	0,29	0,13
	Afótico	0,08	2,05	0,30	0,54	0,30	0,13
12.02.09	100% Luz	0,08	1,92	0,59	0,53	0,30	0,12
	75% Luz	0,08	2,18	0,59	0,46	0,31	0,13
	50% Luz	0,08	1,96	0,59	0,44	0,30	0,12
	25% Luz	0,08	1,92	0,89	0,55	0,30	0,13
	10% Luz	0,08	1,51	0,30	0,54	0,27	0,13
	1% Luz	0,08	1,93	0,30	0,55	0,29	0,13
	Afótico	0,08	1,71	1,77	0,54	0,28	0,13
13.02.09	100% Luz	0,08	1,07	0,30	0,62	0,22	0,07
	75% Luz	0,08	2,09	<L.D.	0,43	0,28	0,11
	50% Luz	0,08	2,78	1,18	0,50	0,28	0,11
	25% Luz	0,08	3,09	1,77	0,52	0,28	0,11
	10% Luz	0,08	2,05	0,89	0,52	0,29	0,11
	1% Luz	0,08	2,78	1,48	0,45	0,26	0,11
	Afótico	0,08	1,83	5,02	0,58	0,29	0,12
14.02.09	100% Luz	0,08	2,49	0,89	0,51	0,21	0,08
	75% Luz	0,08	2,33	0,59	0,47	0,20	0,08
	50% Luz	0,08	2,28	0,89	0,42	0,26	0,09
	25% Luz	0,08	2,86	2,36	0,47	0,27	0,10
	10% Luz	0,08	2,55	1,18	0,52	0,30	0,12
	1% Luz	0,08	2,13	1,48	0,40	0,29	0,11
	Afótico	0,08	2,64	1,48	0,48	0,29	0,12

<L.D. – abaixo do limite de detecção.

Baseado na análise de variância (ANOVA), não houve diferença significativa nas concentrações de lítio, potássio e magnésio.

Detectaram-se diferenças significativas nas concentrações dos seguintes cátions:

- Sódio: Dia 11 diferenciou-se significativamente do dia 14 (Kruskal Wallis –  $p = 0,002$ ). O dia 12 diferenciou-se significativamente do dia 13 (Kruskal Wallis –  $p = 0,003$ ) e 14 (Kruskal Wallis –  $p = 0,002$ ). As médias ( $\pm$  DP) encontrados foram: 11/02 =  $1,78 \pm$



$0,23\text{mg.L}^{-1}$ ; 12/02 =  $1,87 \pm 0,21 \text{ mg.L}^{-1}$ ; 13/02 =  $2,24 \pm 0,69 \text{ mg.L}^{-1}$  e 14/02 =  $2,46 \pm 0,24 \text{ mg.L}^{-1}$ .

- Amônio: Dia 11 diferenciou-se significativamente do dia 14 (Kruskal Wallis –  $p = 0,012$ ). As médias ( $\pm$  DP) encontrados foram: 11/02 =  $0,50 \pm 0,32\mu\text{g.L}^{-1}$ ; 12/02 =  $0,71 \pm 0,50 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; 13/02 =  $1,52 \pm 1,66 \mu\text{g.L}^{-1}$  e 14/02 =  $1,26 \pm 0,58 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

- Cálcio: Dia 11 diferenciou-se significativamente dos dias 13 (Kruskal Wallis –  $p = 0,035$ ) e 14 (Kruskal Wallis –  $p = 0,025$ ). O dia 12 diferenciou-se significativamente dos dias 13 (Kruskal Wallis –  $p = 0,003$ ) e 14 (Kruskal Wallis –  $p = 0,004$ ). As médias ( $\pm$  DP) encontrados foram: 11/02 =  $0,12 \pm 0,01\text{mg.L}^{-1}$ ; 12/02 =  $0,12 \pm 0,004 \text{ mg.L}^{-1}$ ; 13/02 =  $0,10 \pm 0,01 \text{ mg.L}^{-1}$  e 14/02 =  $0,1 \pm 0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Na Tabela 6 e 7 observam-se os valores encontrados das concentrações dos principais cátions e ânions, respectivamente, na coleta de inverno.

**Tabela 6:** Valores dos principais ânions analisados durante a coleta de inverno.

		CONCENTRAÇÃO DE ÂNIONS					
		Fluoreto	Cloreto	Nitrito	Brometo	Nitrato	Sulfato
		( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	( $\text{mg.L}^{-1}$ )	( $\mu\text{g-N.L}^{-1}$ )	( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	( $\mu\text{g-N.L}^{-1}$ )	( $\text{mg-SO}_4^{-2}.\text{L}^{-1}$ )
10.08.09	100% Luz	33,22	2,02	<L.D.	3,84	42,82	0,14
	75% Luz	26,42	1,60	<L.D.	3,84	113,24	0,15
	50% Luz	30,68	1,48	<L.D.	3,84	9,07	0,10
	25% Luz	50,12	1,61	<L.D.	3,84	111,94	0,12
	10% Luz	45,35	1,33	<L.D.	3,84	131,98	0,18
	1% Luz	55,29	1,15	0,53	3,84	149,00	0,16
	Afótico	40,54	1,34	<L.D.	3,84	4,65	0,10
11.08.09	100% Luz	38,62	1,39	<L.D.	3,84	4,32	0,07
	75% Luz	43,05	1,43	<L.D.	3,84	3,85	0,07
	50% Luz	52,39	1,59	<L.D.	3,84	154,45	0,12
	25% Luz	36,03	1,41	<L.D.	3,84	4,74	0,09
	10% Luz	40,15	1,55	0,24	3,84	128,74	0,13
	1% Luz	39,01	1,32	<L.D.	3,84	129,17	0,13
	Afótico	55,42	1,68	<L.D.	3,84	150,48	0,18
12.08.09	100% Luz	32,72	1,45	0,23	3,84	14,26	0,09
	75% Luz	26,26	1,43	<L.D.	3,84	16,67	0,12
	50% Luz	45,31	1,57	<L.D.	3,84	114,03	0,11
	25% Luz	28,70	1,39	0,27	3,84	6,61	0,08
	10% Luz	30,49	1,52	<L.D.	3,84	14,35	0,11
	1% Luz	36,59	1,43	<L.D.	3,84	3,79	0,06
	Afótico	52,18	1,57	0,07	3,84	130,73	0,16
14.08.09	100% Luz	38,68	1,63	<L.D.	3,84	28,56	0,08
	75% Luz	28,63	1,46	<L.D.	3,84	9,58	0,09
	50% Luz	49,65	1,49	<L.D.	3,84	99,20	0,10
	25% Luz	38,97	1,66	<L.D.	3,84	72,04	0,12
	10% Luz	46,91	1,51	0,43	3,84	150,73	0,18
	1% Luz	30,87	1,53	0,19	3,84	14,75	0,11
	Afótico	55,33	1,65	<L.D.	3,84	160,96	0,21

<L.D. – abaixo do limite de detecção.

No geral, não foi encontrado nitrito na coluna de água na coleta de inverno.

Baseado na análise de variância (ANOVA), não houve diferença significativa nas concentrações de fluoreto, cloreto, brometo, nitrato e sulfato.

**Tabela 7:** Valores dos principais cátions analisados durante a coleta de inverno.

		CONCENTRAÇÃO DE CÁTIONS					
		Lítio ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Sódio ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Amônio ( $\mu\text{g-N.L}^{-1}$ )	Potássio ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Magnésio ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Cálcio ( $\text{mg.L}^{-1}$ )
10.08.09	100% Luz	<L.D.	1,22	15,97	0,62	0,37	0,82
	75% Luz	<L.D.	1,27	81,97	0,58	0,30	0,79
	50% Luz	<L.D.	1,29	1,51	0,57	0,33	0,72
	25% Luz	<L.D.	1,36	3,62	0,62	0,41	0,95
	10% Luz	<L.D.	1,22	7,53	0,49	0,41	0,91
	1% Luz	<L.D.	0,92	8,74	0,55	0,36	0,84
	Afótico	<L.D.	1,09	93,73	0,63	0,34	0,81
11.08.09	100% Luz	<L.D.	1,20	<L.D.	0,58	0,33	0,73
	75% Luz	<L.D.	1,24	<L.D.	0,56	0,32	0,78
	50% Luz	<L.D.	1,40	2,41	0,62	0,44	0,99
	25% Luz	<L.D.	1,25	3,62	0,62	0,33	1,04
	10% Luz	<L.D.	1,35	1,51	0,65	0,42	0,96
	1% Luz	<L.D.	1,13	4,52	0,53	0,39	0,88
	Afótico	<L.D.	1,30	6,03	0,64	0,44	1,01
12.08.09	100% Luz	<L.D.	1,27	2,41	0,65	0,34	0,71
	75% Luz	<L.D.	1,17	0,30	0,51	0,33	0,70
	50% Luz	<L.D.	1,39	3,92	0,65	0,40	0,88
	25% Luz	<L.D.	1,21	<L.D.	0,60	0,32	0,69
	10% Luz	<L.D.	1,30	<L.D.	0,57	0,34	0,73
	1% Luz	<L.D.	1,21	<L.D.	0,60	0,33	0,70
	Afótico	<L.D.	1,33	4,82	0,70	0,43	0,90
14.08.09	100% Luz	<L.D.	1,40	<L.D.	0,65	0,35	0,76
	75% Luz	<L.D.	1,22	<L.D.	0,59	0,33	0,70
	50% Luz	<L.D.	1,26	2,11	0,60	0,35	0,86
	25% Luz	<L.D.	1,44	1,81	0,67	0,38	0,83
	10% Luz	<L.D.	1,19	18,69	0,65	0,41	0,93
	1% Luz	<L.D.	1,35	2,11	0,59	0,34	0,73
	Afótico	<L.D.	1,32	15,37	0,65	0,45	0,98

<L.D. – abaixo do limite de detecção.

Não foi detectado a presença de lítio em toda a coluna de água nos quatro dias de coleta de inverno.

Baseado na análise de variância (ANOVA), não houve diferença significativa nas concentrações de sódio, potássio e magnésio.

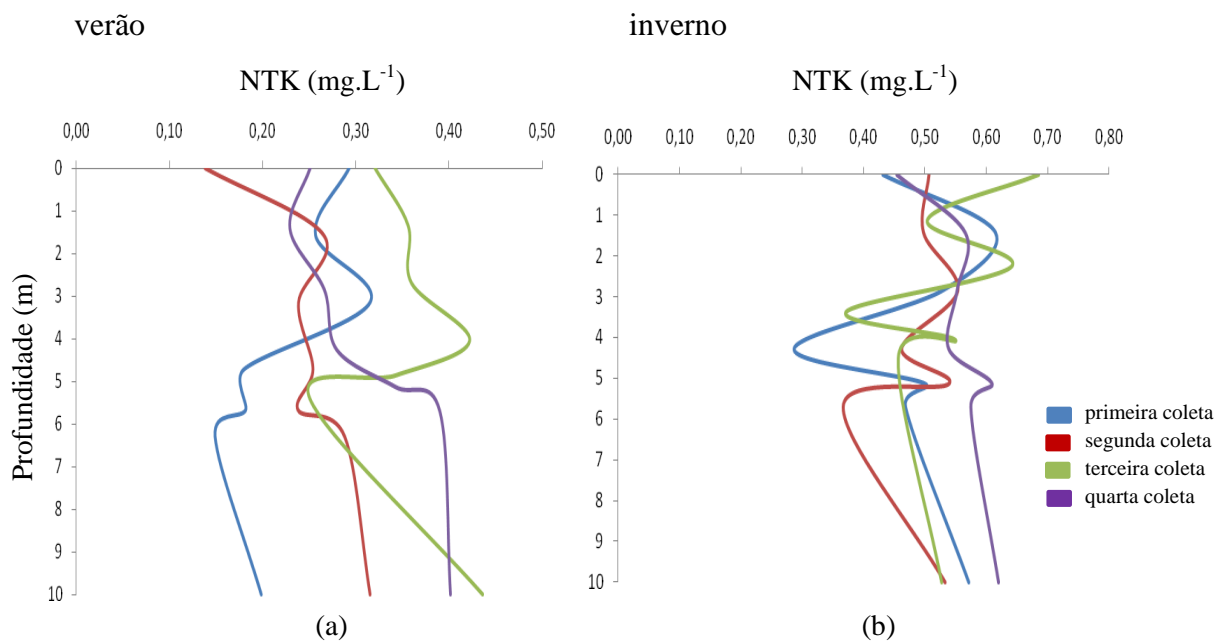
Detectaram-se diferenças significativas nas concentrações dos seguintes cátions:

- Cálcio: Dia 12 diferenciou-se significativamente do dia 13 (um critério - ANOVA -  $p = 0,03$ ;  $F = 2,84$ ). As médias ( $\pm$  DP) encontrados foram: 11/02 =  $0,83 \pm 0,07 \text{mg.L}^{-1}$ ; 12/02 =  $0,91 \pm 0,11 \text{mg.L}^{-1}$ ; 13/02 =  $0,75 \pm 0,09 \text{mg.L}^{-1}$  e 14/02 =  $0,82 \pm 0,10 \text{mg.L}^{-1}$ .

- Amônio: Dia 11 diferenciou-se significativamente dos dias 12 (Kruskal Wallis –  $p = 0,029$ ) e 13 (Kruskal Wallis –  $p = 0,015$ ). As médias ( $\pm$  DP) encontrados foram: 11/02 =  $30,43 \pm 39,62 \text{mg.L}^{-1}$ ; 12/02 =  $2,58 \pm 2,28 \text{mg.L}^{-1}$ ; 13/02 =  $1,63 \pm 2,07 \text{mg.L}^{-1}$  e 14/02 =  $5,72 \pm 7,83 \text{mg.L}^{-1}$ .

4.2.8. Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Fósforo Total (PT), ortofosfatos e silicato.

Observa-se na Figura 17a o perfil vertical da coluna de água em relação à concentração de NTK durante a coleta de verão. Observa-se na Figura 17b o perfil vertical da coluna de água em relação à concentração de NTK durante a coleta de inverno.



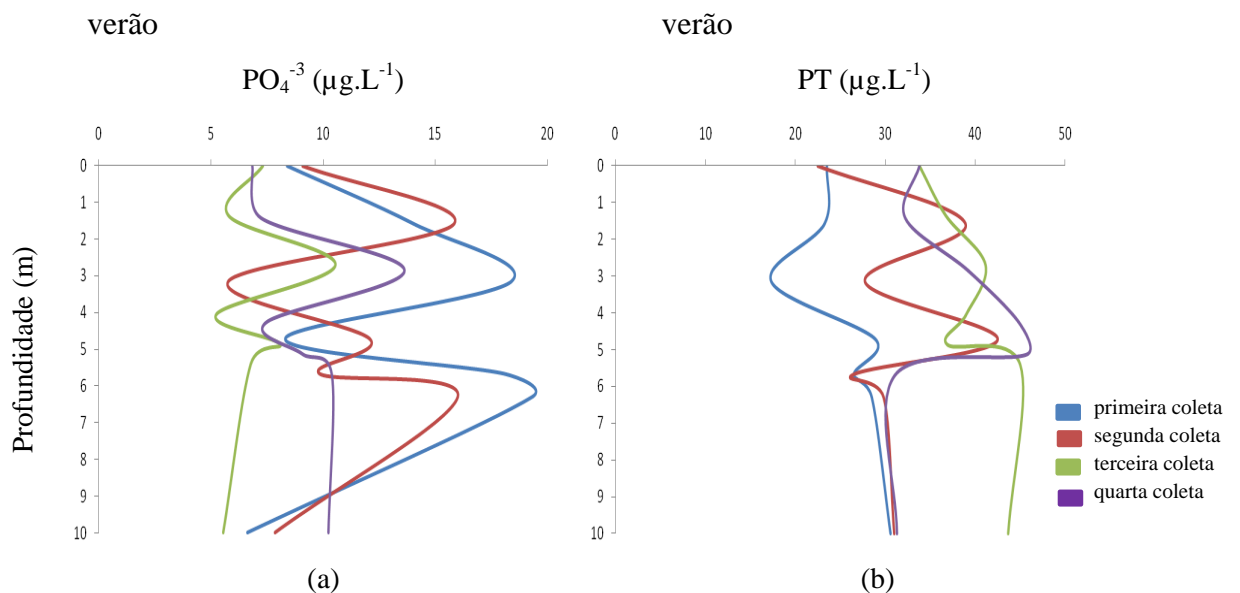
**Figura 17:** (a) Concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) de NTK na coluna de água da coleta de verão. Dia 11/02/09 – azul; dia 12/02/09 – vermelho; dia 13/02/09 – verde e dia 14/02/09 – roxo. (b) Concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) de NTK na coluna de água da coleta de inverno; dia 10/08/09 – azul; dia 11/08/09 – vermelho; dia 12/08/09 – verde e dia 14/02/09 – roxo.

Obteve-se diferença estatística significativa entre as concentrações de NTK na coleta de verão do primeiro dia e do terceiro dia de coleta (um critério - ANOVA -  $p = 0,0041$ ;  $F = 6,0$ ) e entre o segundo e o terceiro dia (um critério - ANOVA -  $p = 0,0221$ ;  $F = 6,0$ ). As médias ( $\pm$  DP) encontrados foram: 11/02 =  $0,22 \pm 0,06$  mg.L<sup>-1</sup>; 12/02 =  $0,25 \pm 0,05$  mg.L<sup>-1</sup>; 13/02 =  $0,35 \pm 0,06$  mg.L<sup>-1</sup> e 14/02 =  $0,30 \pm 0,06$  mg.L<sup>-1</sup>.

Isso demonstra que houve variação da concentração de NTK antes e após a passagem da frente fria.

Baseado na análise de variância (ANOVA), não houve diferença significativa nas concentrações de NTK na coleta de inverno.

As Figuras 18a e 18b apresentam o perfil vertical da coluna de água em relação à concentração de fosfato inorgânico - PI (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) e de fósforo total, respectivamente, durante a coleta de verão.



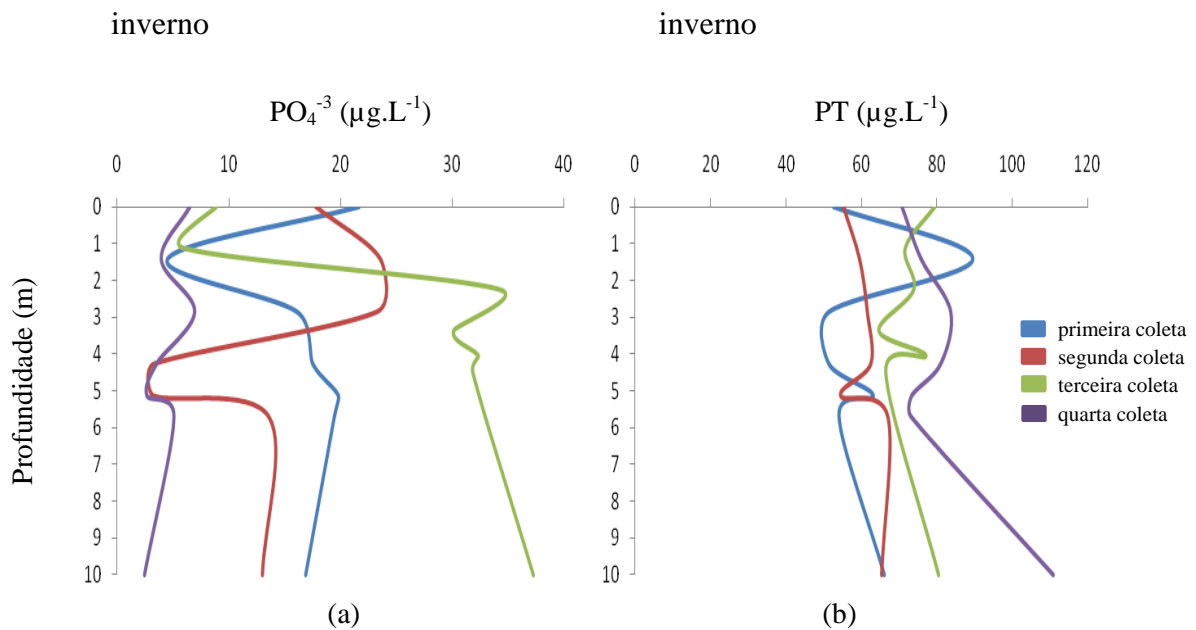
**Figura 18:** (a) Concentração (µg.L<sup>-1</sup>) de fosfato inorgânico na coluna de água da coleta de verão (PI). (b) Concentração (µg.L<sup>-1</sup>) de fósforo total na coluna de água da coleta de verão (PT). Dia 11/02/09 – azul; dia 12/02/09 – vermelho; dia 13/02/09 – verde e dia 14/02/09 – roxo.

Obteve-se diferença estatística significativa entre as concentrações de PI do primeiro dia e do terceiro dia de coleta (um critério - ANOVA  $p = 0,0197$ ;  $F = 3,6$ ). As médias ( $\pm$  DP) encontrados foram: 11/02 =  $13,29 \pm 5,46 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; 12/02 =  $10,92 \pm 3,91 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; 13/02 =  $7,03 \pm 1,85 \mu\text{g.L}^{-1}$  e 14/02 =  $9,26 \pm 2,39 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

Quanto ao PT, houve diferenças significativas entre o primeiro e o terceiro dia (um critério - ANOVA  $p = 0,0007$ ;  $F = 8,5$ ), e o primeiro com o quarto dia (um critério - ANOVA  $p = 0,0048$ ;  $F = 8,5$ ). As médias ( $\pm$  DP) encontrados foram: 11/02 =  $25,51 \pm 4,53 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; 12/02 =  $31,28 \pm 7,05 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; 13/02 =  $39,47 \pm 4,02 \mu\text{g.L}^{-1}$  e 14/02 =  $36,91 \pm 6,37 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

Isso demonstra que houve variação da concentração de PI e de PT antes e após a passagem da frente fria.

As Figuras 19a e 19b apresentam o perfil vertical da coluna de água em relação à concentração de fosfato inorgânico ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) e de fósforo total, respectivamente, durante a coleta de inverno.

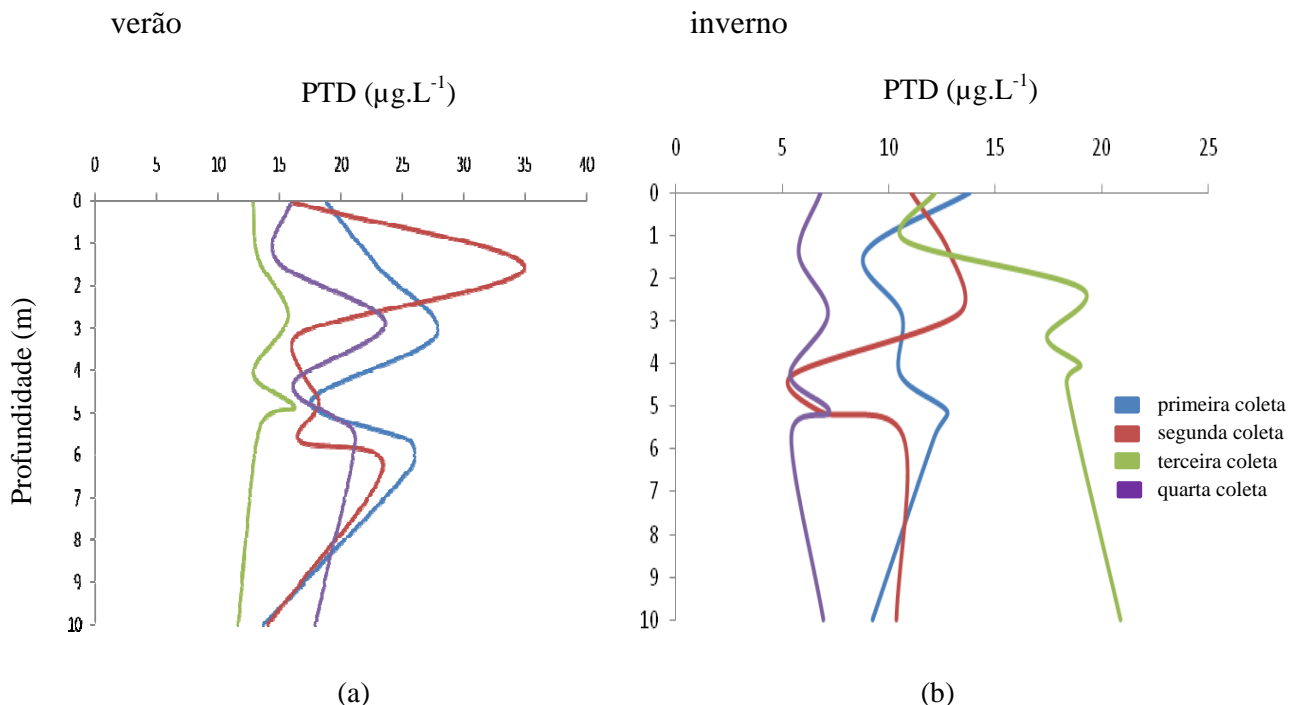


**Figura 19:** (a) Concentração ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) de fosfato inorgânico na coluna de água da coleta de inverno (PI). (b) Concentração ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) de fósforo total na coluna de água da coleta de inverno (PT). Dia 10/08/09 – azul; dia 11/08/09 – vermelho; dia 12/08/09 – verde e dia 14/08/09 – roxo.

Obteve-se diferença estatística significativa entre as concentrações de PT do primeiro dia e do terceiro dia de coleta (Kruskal-Wallis -  $p = 0,0409$ ); do primeiro dia com o quarto dia (Kruskal-Wallis -  $p = 0,0214$ ), do segundo dia com o terceiro dia (Kruskal-Wallis  $P = 0,0072$ ) e do segundo dia com o quarto dia (Kruskal-Wallis -  $p = 0,0021$ ). As médias ( $\pm$  DP) encontrados foram: 11/02 =  $61,20 \pm 13,79 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; 12/02 =  $60,81 \pm 4,80 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; 13/02 =  $73,41 \pm 6,17 \mu\text{g.L}^{-1}$  e 14/02 =  $81,22 \pm 13,83 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

Isso demonstra que houve variação da concentração de PT antes e após a passagem da frente fria.

As Figuras 20a e 20b referem-se às concentrações de fosfato total dissolvido (PTD) encontradas na coluna de água da represa do Lobo/Broa na coleta de verão e inverno, respectivamente.

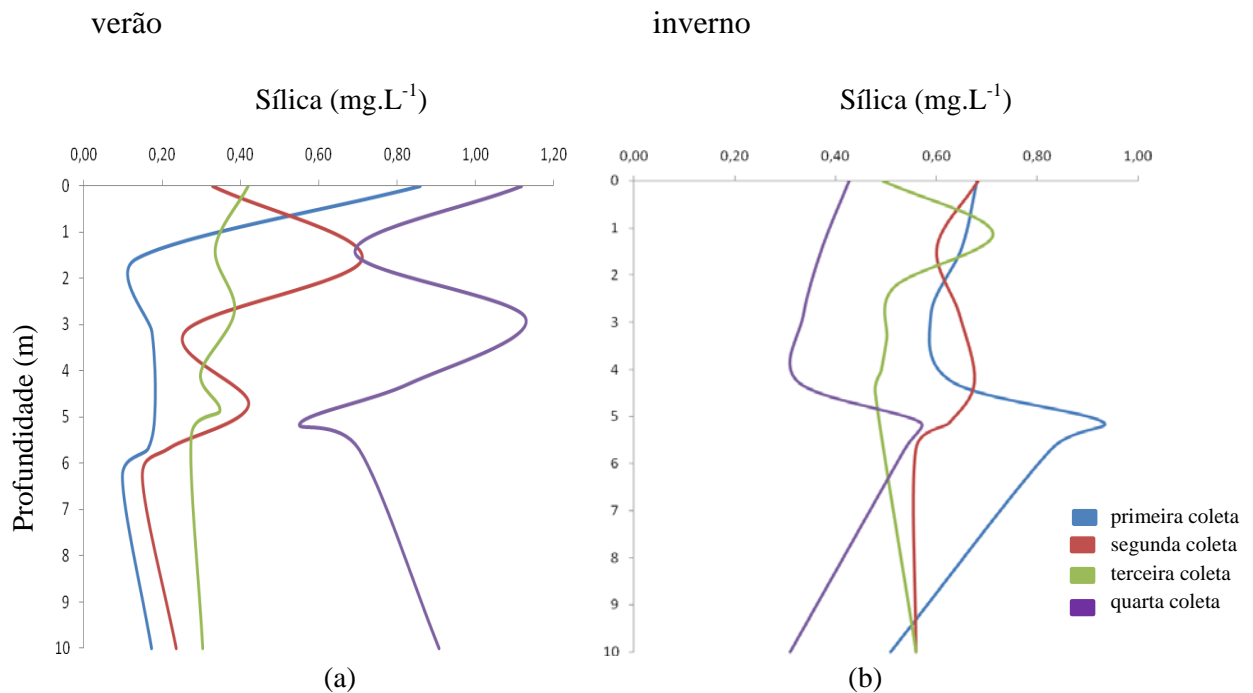


**Figura 20:** (a) Concentração ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) de fosfato total dissolvido na coluna de água da coleta de verão, dia 11/02/09, dia 11/02/09 – azul; dia 12/02/09 – vermelho; dia 13/02/09 – verde e dia 14/02/09 – roxo. (b) Concentração ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) de fosfato total dissolvido na coluna de água da coleta de inverno; dia 10/08/09 – azul. Dia 11/08/09 – vermelho; dia 12/08/09 – verde e dia 14/02/09 – roxo.

Para as concentrações de PTD no verão, o dia 11 diferenciou-se significativamente do dia 13 (Kruskal Wallis –  $p = 0,004$ ). O dia 12 diferenciou-se significativamente do dia 13 (Kruskal Wallis –  $p = 0,007$ ). As médias ( $\pm$  DP) encontrados foram: 11/02 =  $21,69 \pm 5,12 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; 12/02 =  $19,87 \pm 7,21 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; 13/02 =  $13,68 \pm 1,65 \mu\text{g.L}^{-1}$  e 14/02 =  $18,40 \pm 3,15 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

Para as concentrações de PTD no inverno, o dia 11 diferenciou-se significativamente do dia 13 (Kruskal Wallis –  $p = 0,015$ ) e do dia 14 (Kruskal Wallis –  $p = 0,002$ ). O dia 12 diferenciou-se significativamente do dia 13 (Kruskal Wallis –  $p = 0,015$ ) e do dia 14 (Kruskal Wallis –  $p = 0,047$ ). As médias ( $\pm$  DP) encontrados foram: 11/02 =  $11,12 \pm 1,84 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; 12/02 =  $10,05 \pm 2,9 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; 13/02 =  $16,82 \pm 3,82 \mu\text{g.L}^{-1}$  e 14/02 =  $6,35 \pm 0,82 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

Observa-se na Figura 21a o perfil vertical da coluna de água em relação à concentração de silicato reativo solúvel durante a coleta de verão e na Figura 21b observa-se o perfil vertical da coluna de água em relação à concentração de silicato reativo solúvel durante a coleta de inverno.



**Figura 21:** (a) Concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) de silicato reativo solúvel na coluna de água da coleta de verão, dia 11/02/09 – azul; dia 12/02/09 – vermelho; dia 13/02/09 – verde e dia 14/02/09 – roxo. (b) Concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) de silicato reativo solúvel na coluna de água da coleta de inverno; dia 10/08/09 – azul; dia 11/08/09 – vermelho; dia 12/08/09 – verde e dia 14/02/09 – roxo.



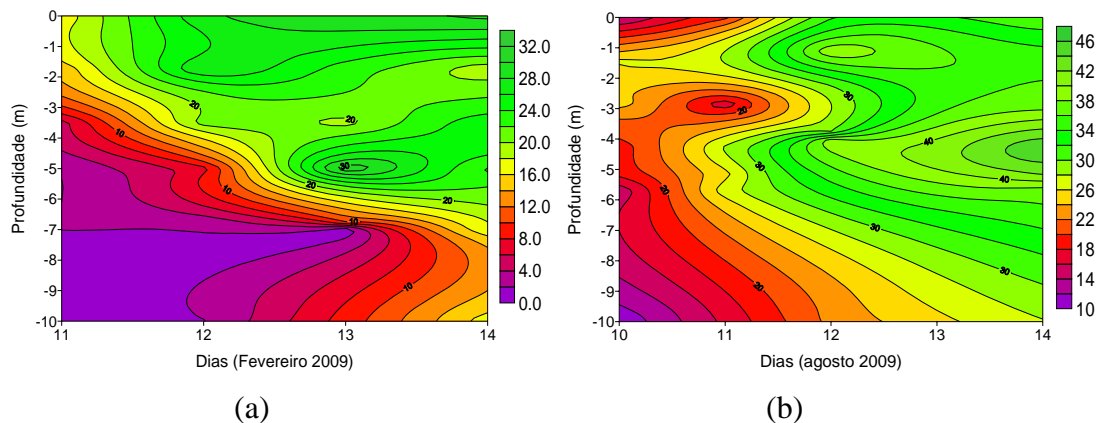
Na Figura 21b, de inverno, observa-se que a disponibilidade de silicato reativo solúvel como um todo, é maior no primeiro dia de coleta. A disponibilidade de silicato reativo solúvel na coluna de água, porém, diminui a cada coleta.

No verão, Figura 21a, o padrão apresentado pela sílica diferiu-se do inverno. A concentração de sílica aumentou do primeiro ao último dia de coleta.

### 4.3. Variáveis biológicas

#### 4.3.1. Clorofila-*a* e feofitina

Observa-se na Figura 22a e 22b o perfil vertical da coluna de água de clorofila-*a* ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) na coleta de verão e inverno, respectivamente.



**Figura 22:** Perfil vertical da coluna de água da concentração de clorofila-*a* ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ). (a) Coleta de verão, dias 11, 12, 13 e 14/02/09. (b) Coleta de inverno, dias 10,11, 12 e 14/08/09.

Na Figura 22a pode-se observar que no primeiro dia de coleta, dia 11/02, a clorofila-*a* concentrava-se, principalmente, na camada superficial da coluna de água. A partir do segundo dia de coleta, observou-se que a clorofila-*a* aumentou, não somente na superfície mas também nas camadas mais profundas.

Na Tabela 8 observam-se os valores de clorofila-*a* encontrados na coleta de verão.

**Tabela 8:** Concentração de Clorofila-*a* ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) na coleta de verão.

	Concentração de Clorofila- <i>a</i> ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )			
	11.02.09	12.02.09	13.02.09	14.02.09
100% Luz	16,70	27,63	29,35	30,51
75% Luz	14,61	28,00	22,91	18,70
50% Luz	5,21	20,89	19,33	25,33
25% Luz	2,24	7,25	31,63	21,68
10% Luz	2,26	2,67	10,23	17,98
1% Luz	2,07	2,30	0,63	17,65
Afótica	1,70	1,91	8,91	17,00

Na Figura 22b, assim como visualizada na coleta de verão, no primeiro dia de coleta, dia 10/08, a clorofila-*a* concentrava-se principalmente na camada superficial da coluna de água. A partir do segundo dia de coleta a clorofila-*a* também aumentou, tanto nas camadas superficiais como nas mais profundas. Na coleta de inverno, no último dia de coleta, pode-se observar que a clorofila-*a* tornou-se praticamente homogênea em toda a coluna de água.

Na Tabela 9 observam-se os valores de clorofila-*a* encontrados na coleta de inverno.

**Tabela 9:** Concentração de Clorofila-*a* ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) na coleta de inverno.

	Concentração de Clorofila- <i>a</i> ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )			
	10.08.09	11.08.09	12.08.09	14.08.09
100% Luz	13,86	19,51	31,82	30,09
75% Luz	26,28	18,75	39,60	35,03
50% Luz	24,84	16,70	29,98	36,87
25% Luz	19,00	28,28	29,98	46,00
10% Luz	18,70	25,37	39,33	42,29
1% Luz	14,56	27,14	36,24	37,05
Afótica	10,47	16,47	22,54	27,86

Observa-se na Tabela 10 os valores encontrados de feofitina ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) na coluna de água durante a coleta de verão.

**Tabela 10:** Concentração de Feofitina ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) na coleta de verão.

	Concentração de Feofitina ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )			
	11.02.09	12.02.09	13.02.09	14.02.09
100% Luz	2,12	1,45	4,01	4,59
75% Luz	2,52	3,70	3,43	3,77
50% Luz	2,62	2,04	2,60	2,74
25% Luz	4,37	2,14	3,68	3,93
10% Luz	4,08	2,70	1,85	3,54
1% Luz	3,94	2,67	43,31	3,54
Afótica	3,61	3,97	4,95	3,19

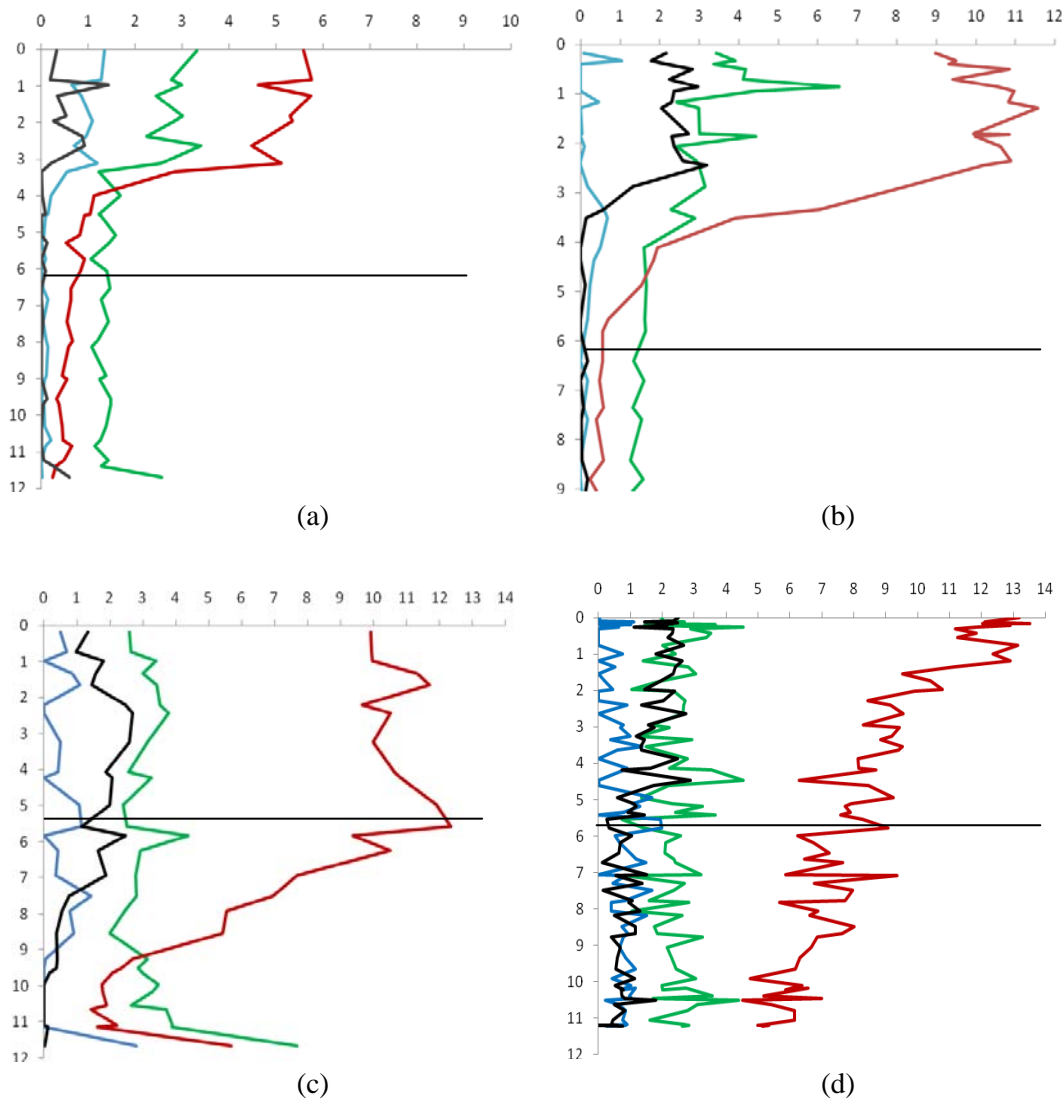
Observam-se na Tabela 11 os valores encontrados de feofitina ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) na coluna de água durante a coleta de inverno.

**Tabela 11:** Concentração de Feofitina ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) na coleta de inverno.

	Concentração de Feofitina ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )			
	10.08.09	11.08.09	12.08.09	14.08.09
100% Luz	1,91	3,30	4,23	7,87
75% Luz	4,29	3,35	4,37	3,50
50% Luz	4,07	2,72	3,92	2,33
25% Luz	5,32	3,86	4,06	3,00
10% Luz	4,79	5,18	4,50	1,22
1% Luz	5,11	3,42	4,69	3,57
Afótica	6,01	2,99	3,72	1,96

#### 4.3.2. Concentração de grupos fitoplanctônicos – FluoroProbe.

Observa-se na Figura 23 o perfil vertical da coluna de água na coleta de verão representando os grupos fitoplanctônicos: Chlorophyceae, Cyanophyceae, Bacillariophyceae e Cryptophyceae obtidos através da análise com a sonda FluoroProbe. A faixa dentro de cada figura representa o limite da zona eufótica em cada dia de coleta obtido com auxílio do disco de Secchi.



**Figura 23:** Perfil vertical da coluna de água na coleta de verão, representando os grupos fitoplanctônicos: Chlorophyceae (verde); Cyanophyceae (azul); Bacillariophyceae (vermelho) e Cryptophyceae (preto). (a) 11/02/09; (b) 12/02/09; (c) 13/02/09; (d) 14/02/09. Zona eufótica: (a,b) 0 a 6,30m; (c) 0 a 5,4m e (d) 0 a 5,7m.

No primeiro dia de coleta os grupos fitoplanctônicos apresentaram-se mais abundantes nas profundidades entre 0 a 3,5 metros. Neste ponto, houve uma queda rápida da concentração dos grupos fitoplanctônicos.

O grupo das bacilariofíceas foi o dominante até a profundidade de 3,5 metros, variando em torno de 4,8 a 5,8  $\mu\text{g.L}^{-1}$ . Após esta profundidade, sua concentração diminuiu, variando de 0,5 a 1  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , nesta situação, o domínio deu-se pelo grupo das algas verdes. Sua concentração, de 2,1 a 3,5  $\mu\text{g.L}^{-1}$  nas profundidades de 0 a 3,5 metros, diminuiu para 1,8  $\mu\text{g.L}^{-1}$  nas profundidades inferiores.

Os outros grupos, as cianofíceas e as criptofíceas, variaram suas concentrações de 0,2 a 1,5  $\mu\text{g.L}^{-1}$  até a profundidade de 3,5 metros chegando a concentrações de 0 a 0,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$  abaixo de 3,5 metros.

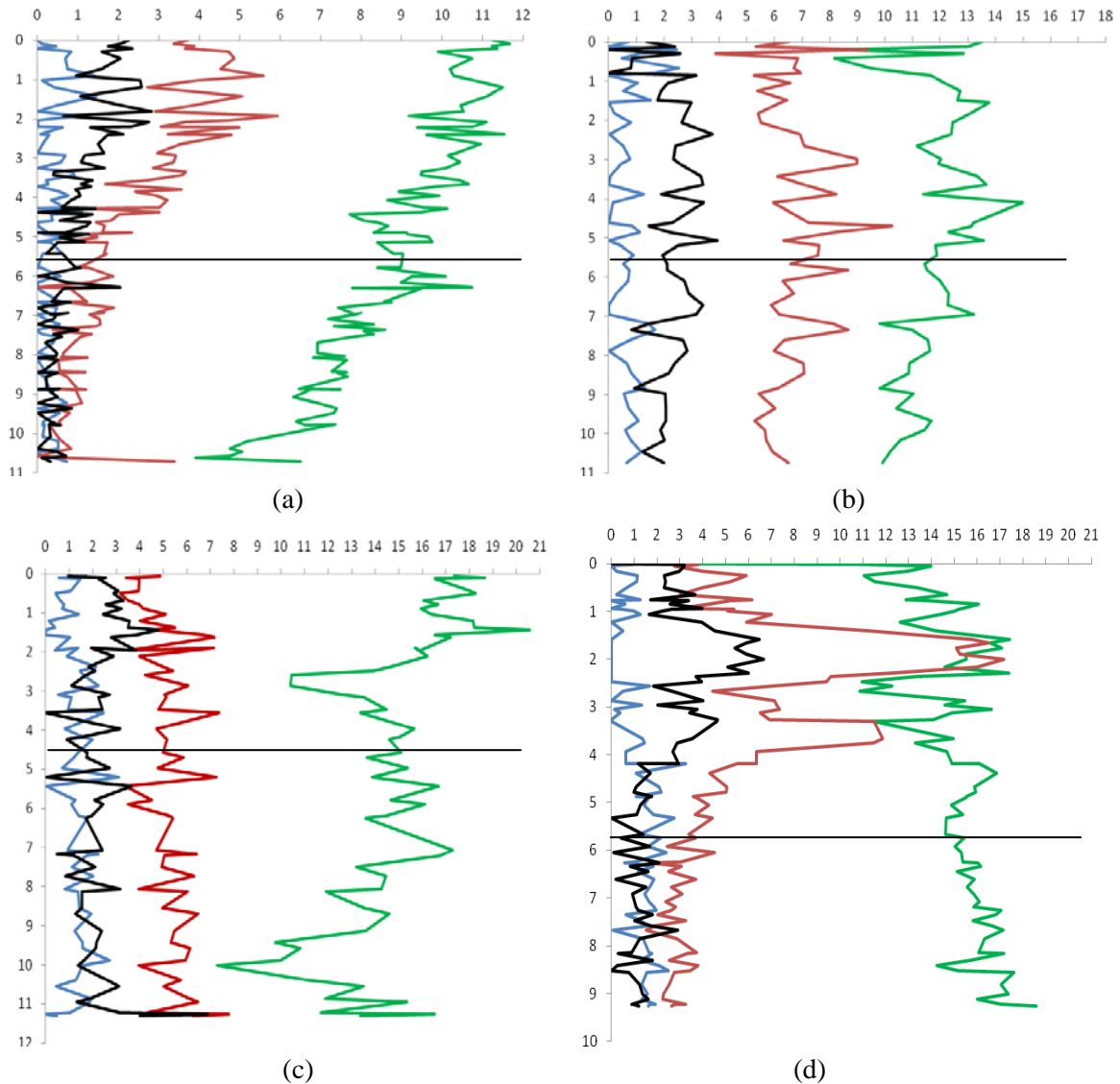
No segundo dia de coleta houve um aumento das concentrações das diatomáceas, das algas verdes e das criptofíceas em relação ao primeiro dia de coleta. A concentração das diatomáceas variou de 9 a 11,7  $\mu\text{g.L}^{-1}$  entre as profundidades de 0 a 2,5 metros, onde ocorreu um rápido decréscimo de sua concentração, chegando a quase 0 nas regiões mais profundas. Esta queda nesta mesma profundidade também foi observada nas clorofíceas e nas criptofíceas, porém, com esta queda, enquanto a concentração das criptofíceas chegou a zero, a das clorofíceas permaneceu com 1,8  $\mu\text{g.L}^{-1}$  até o fundo da represa.

No terceiro dia de coleta, diferentemente dos dias anteriores, a queda das diatomáceas iniciou-se apenas a partir do início da zona afótica, caindo de concentrações de 10 a 12,1  $\mu\text{g.L}^{-1}$  para concentrações próximas a 0  $\mu\text{g.L}^{-1}$ . A concentração das clorofíceas e das cianofíceas manteve-se praticamente constante em toda a coluna de água, por volta de 3  $\mu\text{g.L}^{-1}$  e 0,5  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , respectivamente. A concentração das criptofíceas manteve-se praticamente constante (2  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) até a profundidade de 6 metros, depois, iniciou-se uma diminuição.

No quarto dia de coleta, a concentração de criptofíceas (2,0  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), de cianofíceas (0,5  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) e de clorofíceas (3  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) mantiveram-se praticamente constantes em toda a coluna de água. A concentração das diatomáceas iniciou-se com 13  $\mu\text{g.L}^{-1}$  e foi diminuindo gradativamente na coluna de água até a concentração de 6  $\mu\text{g.L}^{-1}$ .

Observa-se na Figura 24 o perfil vertical da coluna de água na coleta de inverno representando os grupos fitoplanctônicos: Chlorophyceae, Cyanophyceae, Bacillariophyceae e Cryptophyceae obtidos através da análise com a sonda FluoroProbe. A faixa dentro de cada figura representa o limite da zona eufótica em cada dia de coleta obtido com auxílio do disco de Secchi.

Na coleta no período de inverno houve uma inversão do grupo fitoplanctônico dominante. Enquanto no verão a coluna de água era caracterizada principalmente pela dominância das diatomáceas, no inverno as clorofíceas passaram a dominar.



**Figura 24:** Perfil vertical da coluna de água, representando os grupos fitoplanctônicos: Chlorophyceae (verde); Cyanophyceae (azul); Bacillariophyceae (vermelho) e Cryptophyceae (preto). (a) Dia 10/08/09; (b) dia 11/08/09; (c) dia 12/08/09; (d) dia 14/08/09. Zona eufótica: (a, b, d) 0 a 5,7m; (c) 0 a 4,5m.

No primeiro dia de coleta observam-se concentrações de 10 a 12  $\mu\text{g.L}^{-1}$  de clorofíceas, diminuindo gradativamente até concentrações de 7 a 8  $\mu\text{g.L}^{-1}$ . O grupo das bacilariofíceas e das criptofíceas iniciaram-se com cerca de 4,5  $\mu\text{g.L}^{-1}$  e 2  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ,

respectivamente, diminuindo também gradativamente com a profundidade. A concentração das cianofíceas manteve-se baixa e relativamente constante em toda a coluna de água.

No segundo dia de coleta a concentração dos quatro grupos fitoplanctônicos manteve-se relativamente constante. O grupo das clorofíceas manteve-se com concentrações de cerca de  $12 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; o grupo das diatomáceas cerca de  $6 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; o grupo das criptofíceas cerca de  $2 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; e o grupo das cianofíceas cerca de  $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

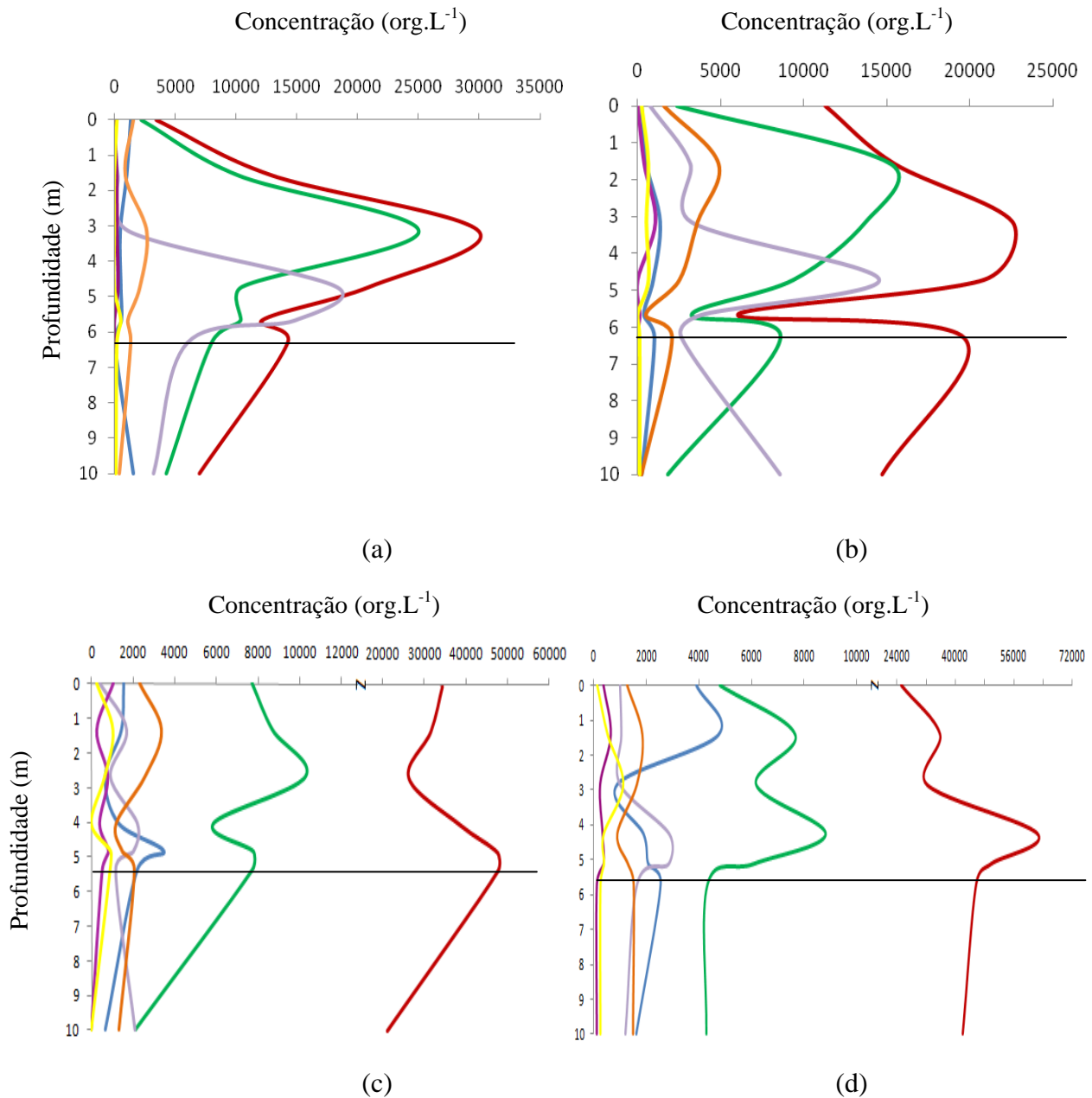
No terceiro dia de coleta houve uma rápida multiplicação das clorofíceas, iniciando com concentrações de  $18 \mu\text{g.L}^{-1}$ . Houve uma pequena diminuição de sua concentração na coluna de água, chegando a cerca de  $15 \mu\text{g.L}^{-1}$ . A concentração das diatomáceas manteve-se constante em toda a coluna de água, cerca de  $4 \mu\text{g.L}^{-1}$ . As cianofíceas e as criptofíceas mantiveram concentrações em torno de  $1,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

No quarto dia de coleta a concentração das clorofíceas variou em torno de  $13 \mu\text{g.L}^{-1}$ . A concentração de diatomáceas variou em torno de  $4 \mu\text{g.L}^{-1}$  em quase toda a coluna de água, dois picos nas profundidades de 2 e 4 metros foram registrados pela sonda. A concentração das criptofíceas variaram em torno de  $2,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ , porém, dois pequenos picos foram observados nas mesmas profundidades dos picos de diatomáceas. A concentração das cianofíceas variou em torno de  $1 \mu\text{g.L}^{-1}$  até os 4 metros, e depois em torno de  $2,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

#### 4.3.3. Concentração e abundância dos grupos fitoplanctônicos – Contagem

Observa-se na Figura 25 o perfil vertical da coluna de água na coleta de verão representando os grupos fitoplanctônicos: Chlorophyceae, Cyanophyceae, Bacillariophyceae, Chrysophyceae, Zygnematophyceae, Xanthophyceae e Euglenophyceae obtidos através de coleta e contagem em microscópio invertido. A faixa dentro de cada figura representa o limite da zona eufótica em cada dia de coleta obtido com auxílio do disco de Secchi.





**Figura 25:** Perfil vertical da coluna de água representando os grupos fitoplanctônicos (organismos. L<sup>-1</sup>) na coleta de verão: Chlorophyceae (verde); Cyanophyceae (azul); Bacillariophyceae (vermelho); Euglenophyceae (roxo); Chrysophyceae (rosa); Zygnematophyceae (laranja) e Xanthophyceae (amarelo). (a) Dia 11/02/09; (b) dia 12/02/09; (c) dia 13/02/09; (d) dia 14/02/09. Zona eufótica: (a,b) 0 a 6,30 m; (c) 0 a 5,4 m e (d) 0 a 5,7 m.

No dia 11/02, no primeiro dia de coleta, a concentração de bacilariofíceas e de clorofíceas iniciou-se em torno de 4.000 org.L<sup>-1</sup>, porém, a 3 metros de profundidade formou-se um pico destes grupos. Neste mesmo ponto as zignematofíceas também formaram um pequeno pico. Um pouco mais abaixo formou-se um pico também de euglenofíceas. Depois da formação deste pico, logo antes de acabar a zona eufótica, observa-se a formação de um

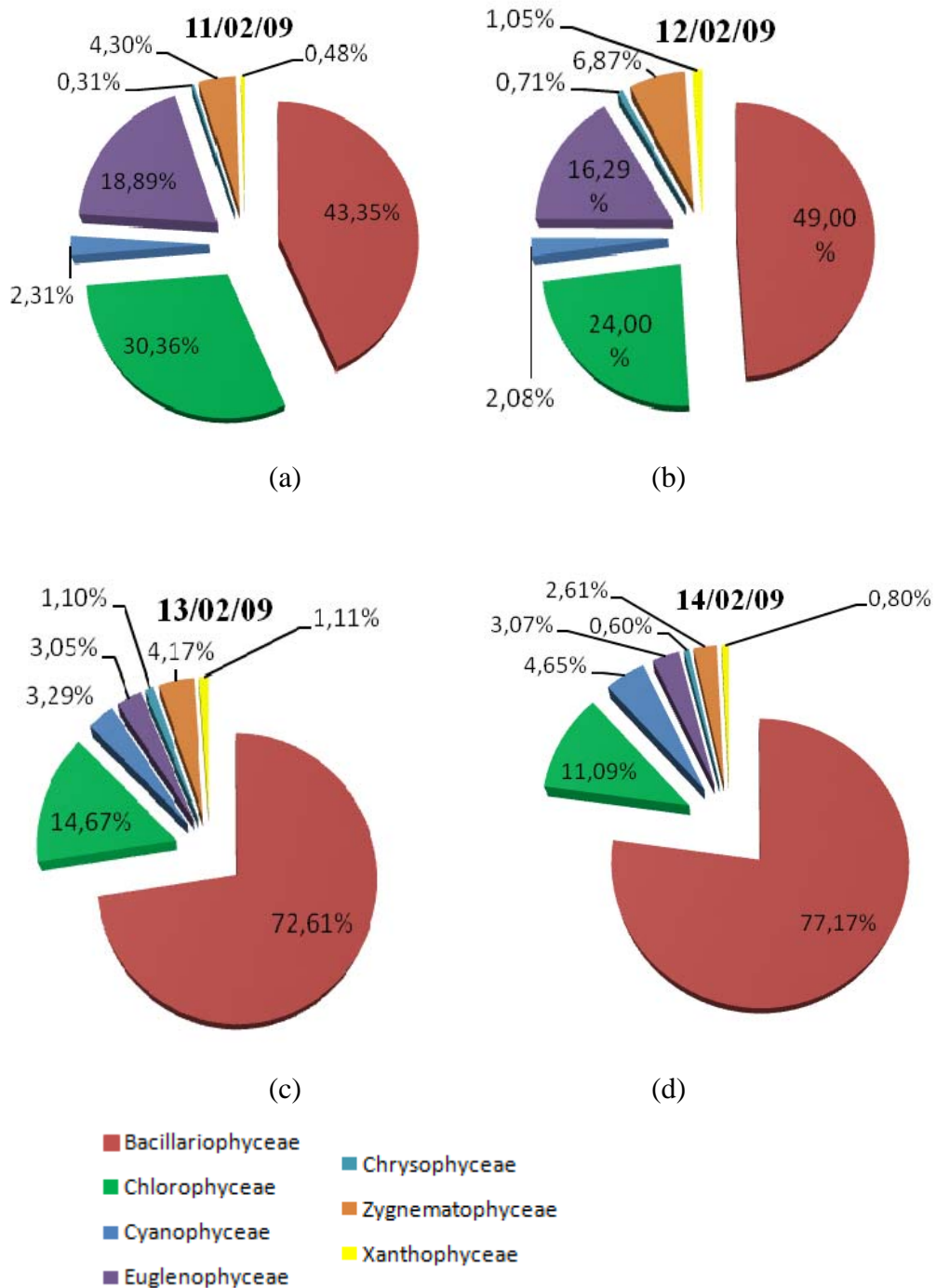
outro pequeno pico de bacilariofíceas, clorofíceas e zignematofíceas. Nota-se um comportamento muito semelhante entre estes três grupos na coluna de água. Neste segundo pico, observa-se um pequeno aumento de cianofíceas e xantofíceas. Observa-se na Figura 26 a abundância fitoplanctônica encontrada no primeiro dia de coleta: Chlorophyceae (30,36%); Bacillariophyceae (43,35%); Cyanophyceae (2,31%); Euglenophyceae (18,89%); Chrysophyceae (0,31%); Zygnematophyceae (4,30%) e Xanthophyceae (0,48%).

No dia 12/02, no segundo dia de coleta, observa-se um pico em torno das profundidades de 2 a 3 metros de diatomáceas, clorofíceas e de zignematofíceas. Depois deste pico, a concentração destes grupos decresce; logo abaixo há a formação de um novo pico no final da zona eufótica. A partir do fim da zona eufótica os grupos fitoplanctônicos passam a diminuir gradativamente suas concentrações. Este mesmo comportamento pôde ser também observado nas cianofíceas e nas crisofíceas, porém, em menor escala. A 4,5 metros de profundidade nota-se um pico de euglenofíceas. O pico máximo apresentado pelas diatomáceas foi em torno de 23.000 org.L<sup>-1</sup>. Na Figura 26 observa-se a abundância fitoplanctônica encontrada no segundo dia de coleta: Chlorophyceae (24,00%); Bacillariophyceae (49,00%); Cyanophyceae (2,08%); Euglenophyceae (16,29%); Chrysophyceae (0,71%); Zygnematophyceae (6,87%) e Xanthophyceae (1,05%).

No terceiro dia de coleta houve um aumento da concentração das diatomáceas, alcançando quase 50.000 org.L<sup>-1</sup>. A partir do fim da zona eufótica, houve uma gradativa diminuição da concentração. As clorofíceas, zignematofíceas, euglenofíceas, cianofíceas e xantofíceas apresentaram o mesmo comportamento na coluna de água, formando um pico a cerca de 3 metros e outro a 5 metros, perto do fim da zona eufótica. A partir deste último pico, houve uma diminuição das concentrações. Pode-se observar na Figura 26 a abundância fitoplanctônica encontrada no terceiro dia de coleta: Chlorophyceae (14,67%); Bacillariophyceae (72,61%); Cyanophyceae (3,29%); Euglenophyceae (3,05%); Chrysophyceae (1,10%); Zygnematophyceae (4,17%) e Xanthophyceae (1,11%).

No quarto dia de coleta a concentração de diatomáceas ainda aumenta, alcançando concentrações de quase 63.000 org.L<sup>-1</sup>. Nota-se comportamentos semelhantes entre as diatomáceas, clorofíceas, cianofíceas e em menor escala das zignematofíceas e das crisofíceas. Pode-se observar na Figura 26 a abundância fitoplanctônica encontrada no quarto dia de coleta: Chlorophyceae (11,09%); Bacillariophyceae (77,17%); Cyanophyceae (4,65%);

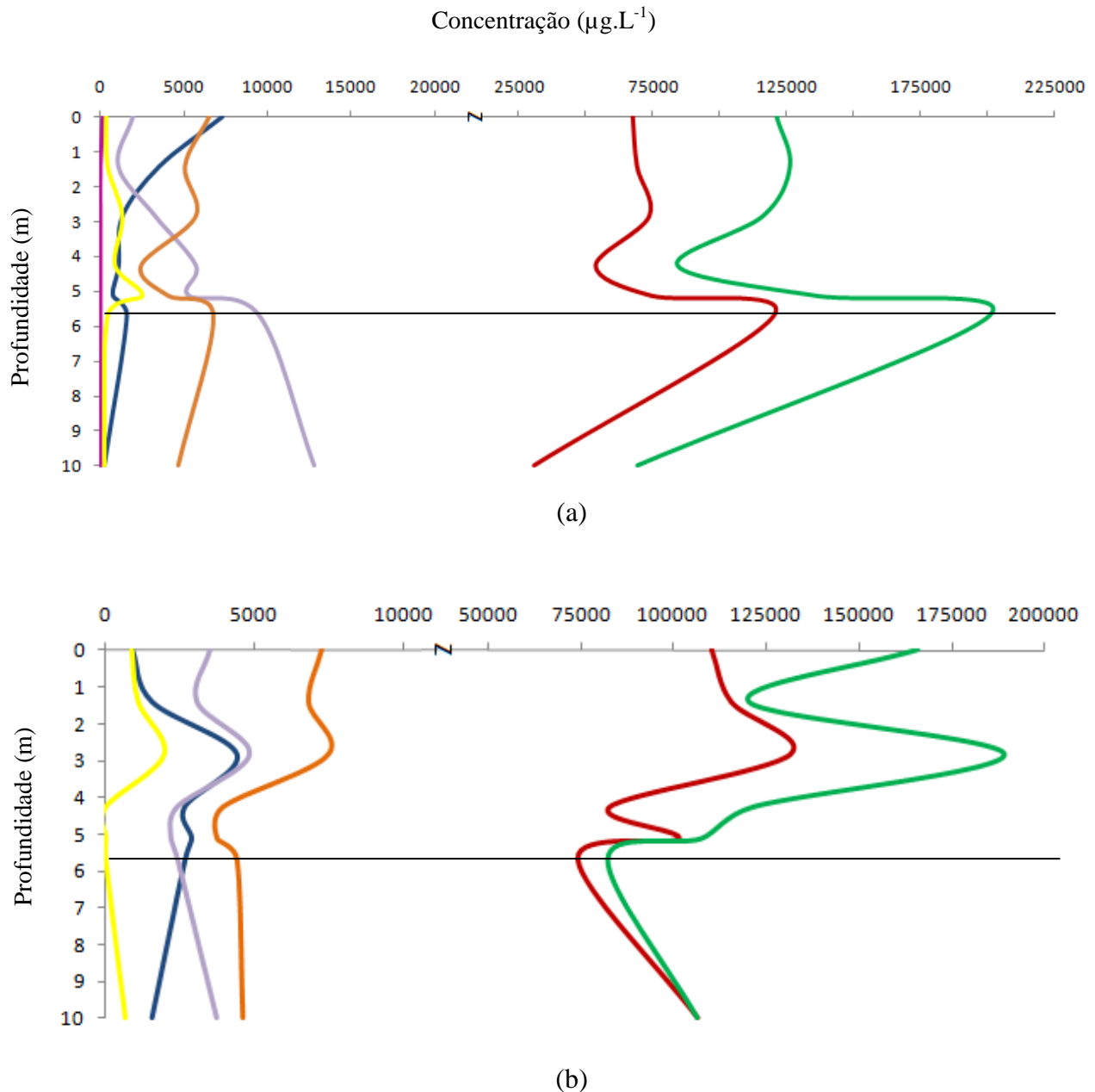
Euglenophyceae (3,07%); Chrysophyceae (0,60%); Zygnematophyceae (2,61%) e Xanthophyceae (0,80%).



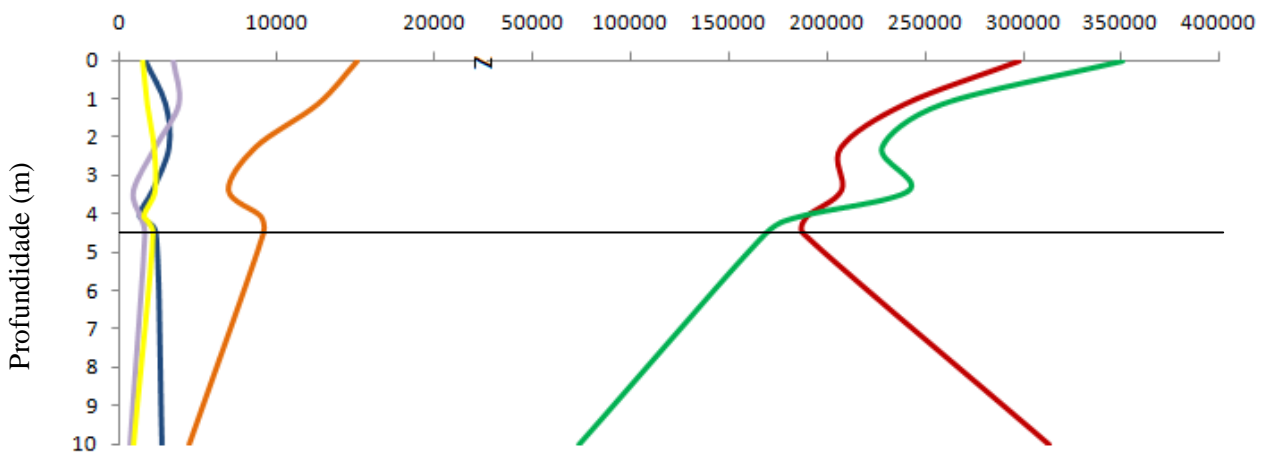
**Figura 26:** Abundância fitoplanctônica na coleta de verão.

Observa-se na Figura 27 o perfil vertical da coluna de água na coleta de inverno representando os grupos fitoplanctônicos: Chlorophyceae, Cyanophyceae,

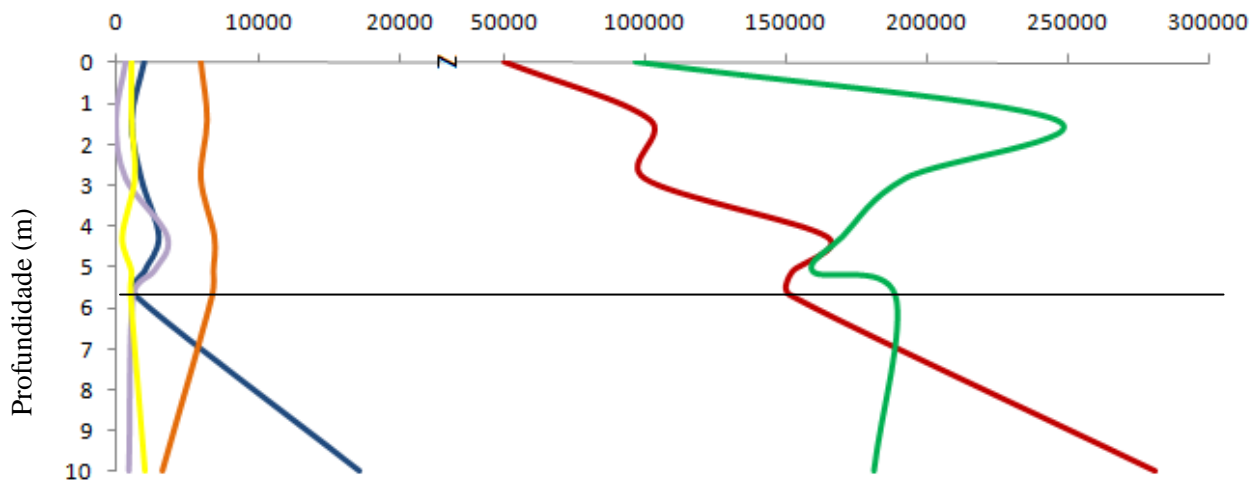
Bacillariophyceae, Chrysophyceae, Zygnematophyceae, Xanthophyceae e Euglenophyceae obtidos através de coleta e contagem em microscópio invertido. A faixa dentro de cada figura representa o fim da zona eufótica em cada dia de coleta obtido com auxílio do disco de Secchi.



**Figura 27:** Perfil vertical da coluna de água representando os grupos fitoplanctônicos na coleta de inverno: Chlorophyceae (verde); Cyanophyceae (azul); Bacillariophyceae (vermelho); Euglenophyceae (roxo); Chrysophyceae (rosa); Zygnematophyceae (laranja) e Xanthophyceae (amarelo). (a) Dia 10/08/09; (b) dia 11/08/09; (c) dia 12/08/09 e (d) dia 14/08/09. Zona eufótica: (a, b, d) 0 a 5,7 m; (c) 0 a 4,5 m. Continua.



(c)



(d)

**Figura 27:** Continuação. Perfil vertical da coluna de água representando os grupos fitoplanctônicos na coleta de inverno: Chlorophyceae (verde); Cyanophyceae (azul); Bacillariophyceae (vermelho); Euglenophyceae (roxo); Chrysophyceae (rosa); Zygnematophyceae (laranja) e Xanthophyceae (amarelo). (a) Dia 10/08/09; (b) dia 11/08/09; (c) dia 12/08/09 e (d) dia 14/08/09.

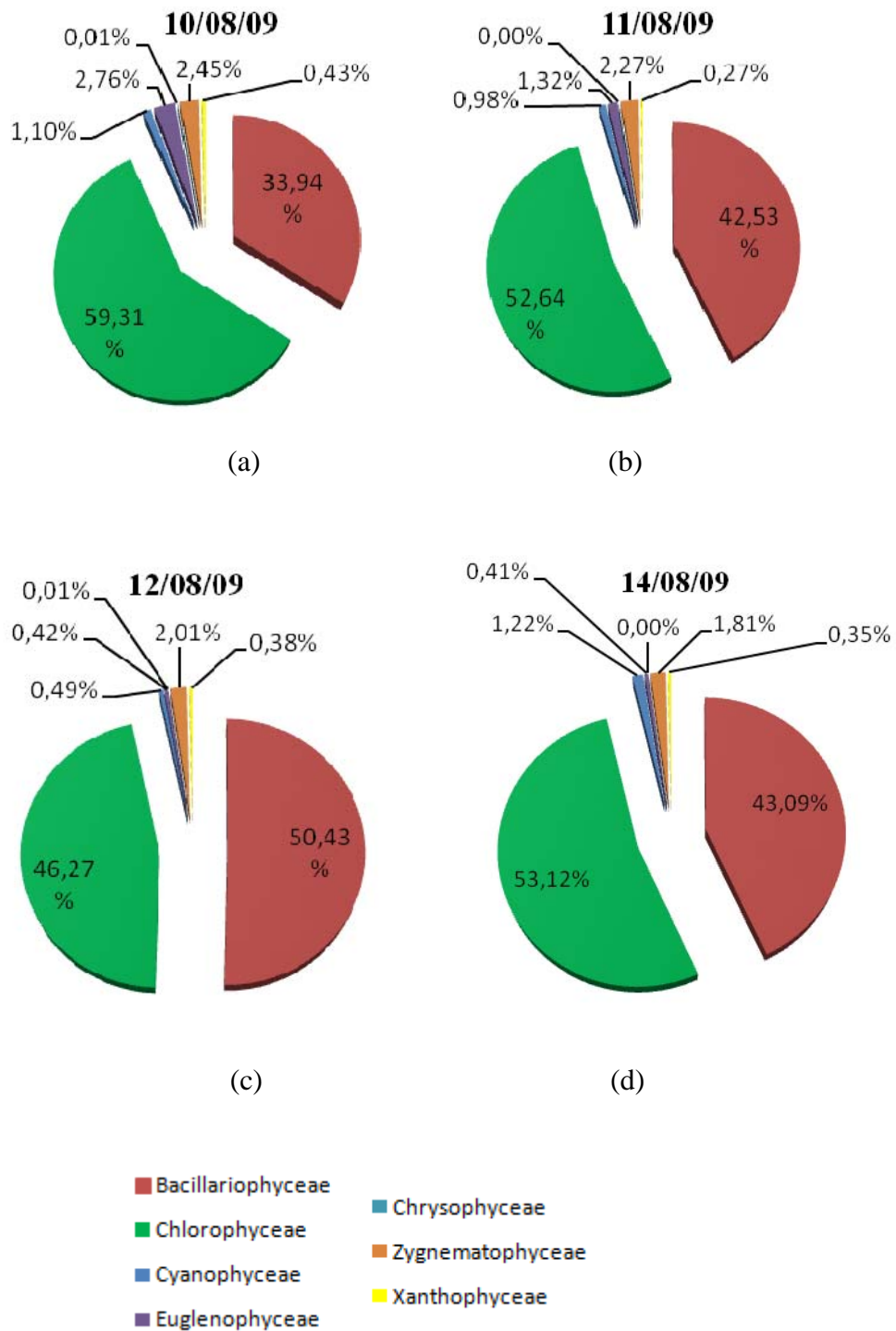
Zona eufótica: (a, b, d) 0 a 5,7 m; (c) 0 a 4,5 m.

No primeiro dia de coleta de inverno observou-se que houve uma inversão do grupo fitoplanctônico dominante. Enquanto no verão as diatomáceas dominavam a coluna de água, no inverno as clorofíceas passaram a dominar. Nota-se que estes dois grupos apresentam o mesmo comportamento na coluna de água e, em menor proporção, o grupo das zignematofíceas e das xantofíceas. As euglenofíceas aumentaram sua concentração depois da zona eufótica. Como observado na Figura 28, os grupos fitoplanctônicos tiveram a seguinte representatividade: Chlorophyceae (59,31%); Bacillariophyceae (34,94%); Cyanophyceae (1,10%); Euglenophyceae (2,76%); Chrysophyceae (0,01%); Zygnematophyceae (2,45%) e Xanthophyceae (0,43%).

No segundo dia de coleta, dia 11/08, houve um aumento de clorofíceas e das diatomáceas na coluna de água. Estes dois grupos apresentaram comportamentos semelhantes na coluna de água. Todos os grupos apresentaram picos entre as profundidades de 2 a 3 metros. Na Figura 28 observa-se a representatividade fitoplanctônica encontrada no segundo dia de coleta: Chlorophyceae (52,64%); Bacillariophyceae (42,53%); Cyanophyceae (0,98%); Euglenophyceae (1,32%); Chrysophyceae (0%); Zygnematophyceae (2,27%) e Xanthophyceae (0,27%).

No terceiro dia de coleta observou-se novamente um aumento das concentrações de clorofíceas (de até 350.000 org.L<sup>-1</sup>) e de diatomáceas (em torno de 310.000 org.L<sup>-1</sup>). O grupo das zignematofíceas também apresentaram uma concentração maior (em torno de 15.000 org.L<sup>-1</sup>). Pode-se observar na Figura 28 a abundância fitoplanctônica encontrada no terceiro dia de coleta: Chlorophyceae (46,27%); Bacillariophyceae (50,43%); Cyanophyceae (0,49%); Euglenophyceae (0,42); Chrysophyceae (0,01%); Zygnematophyceae (2,27%) e Xanthophyceae (0,27%).

No quarto dia de coleta o número de clorofíceas e de diatomácias começaram a diminuir. A concentração das clorofícias inicia-se com cerca de 250.000 org.L<sup>-1</sup> e no final da coluna de água termina com cerca de 180.000 org.L<sup>-1</sup>. As diatomáceas, ao contrário, iniciam com concentrações mais baixas (cerca de 50.000 org.L<sup>-1</sup>) aumentando a concentração nas áreas mais profundas (cerca de 280.000 org.L<sup>-1</sup>). As zignematofíceas e as xantofíceas mostraram-se constantes praticamente em toda a coluna de água. As euglenofíceas e as cianofíceas apresentaram um pequeno pico na profundidade de 4,5 metros. Pode-se observar na Figura 28 a abundância fitoplanctônica encontrada no quarto dia de coleta: Chlorophyceae (53,12%); Bacillariophyceae (43,09%); Cyanophyceae (1,22%); Euglenophyceae (0,41%); Chrysophyceae (0%); Zygnematophyceae (1,81%) e Xanthophyceae (0,35%).



**Figura 28:** Abundância fitoplanctônica na coleta de inverno.

#### 4.3.4. Composição da comunidade fitoplanctônica

No presente trabalho a comunidade fitoplanctônica foi representada pelas classes Chlorophyceae, Cyanophyceae, Bacillariophyceae, Euglenophyceae, Chrysophyceae, Zygnematomyceae e Xanthophyceae, tendo sido identificado um total de 72 taxos, todos até a classificação de gênero.

Durante o período de estudo, a distribuição do fitoplâncton na coluna de água foi analisada nas seguintes profundidades de penetração de luz: 100%, 75%, 50%, 25%, 10%, 1% e zona afótica.

Na Tabela 12 é apresentada a lista das classes e gêneros de fitoplâncton encontrados no reservatório do Broa, no período de coleta de verão.



**Tabela 12:** Classes e gêneros de fitoplâncton encontrados no reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa), no período de coleta de verão.

<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>	<b>CHLOROPHYCEAE</b>	<b>CYANOPHYCEAE</b>
<i>Aulacoseira</i>	<i>Chlorella</i>	<i>Anabaena</i>
<i>Pinnularia</i>	<i>Ankistrodesmus</i>	<i>Chroococcus</i>
<i>Eunotia</i>	<i>Gloeocystis</i>	<i>Oscillatoria</i>
<i>Nitzschia</i>	<i>Oocystis</i>	<i>Nostoc</i>
<i>Diatoma</i>	<i>Chlorococcum</i>	<i>Merismopedia</i>
<i>Surirella</i>	<i>Closteriopsis</i>	<i>Gomphosphaeria</i>
<i>Stauroneis</i>	<i>Coelastrum</i>	<i>Microcystis</i>
<i>Cyclotella</i>	<i>Desmodesmus</i>	
<i>Gomphonema</i>	<i>Dictyosphaerium</i>	<b><u>EUGLENOPHYCEAE</u></b>
<i>Navicula</i>	<i>Westella</i>	<i>Euglena</i>
<i>Cymbopleura</i>	<i>Sphaerocystis</i>	<i>Strombomonas</i>
<i>Tabellaria</i>	<i>Eudorina</i>	<i>Astasia</i>
<i>Fragilaria</i>	<i>Pediastrum</i>	<i>Phacus</i>
<i>Gyrosigma</i>	<i>Selenastrum</i>	<i>Heteronema</i>
	<i>Microspora</i>	<i>Milaneziamonas</i>
<b><u>CHRYSOPHYCEAE</u></b>	<i>Botryococcus</i>	<i>Lepocinclis</i>
	<i>Tetrallantos</i>	<i>Trachelomonas</i>
<i>Dynobryon</i>	<i>Oedogonium</i>	
<i>Synura</i>	<i>Pandorina</i>	
	<i>Treubaria</i>	<b><u>ZYGNEMATOPHYCEAE</u></b>
<b><u>XANTHOPHYCEAE</u></b>	<i>Palmella</i>	<i>Staurodesmus</i>
		<i>Staurastrum</i>
<i>Isthmochloron</i>		<i>Micrasterias</i>
		<i>Xanthidium</i>
		<i>Closterium</i>
		<i>Hyalotheca</i>
		<i>Cosmarium</i>

Na coleta de verão, identificaram-se 14 gêneros de bacilariofíceas, 21 gêneros de clorofíceas, 7 gêneros de cianofíceas, 8 gêneros de euglenofíceas, 2 gêneros de crisofíceas, 7 gêneros de zignematofíceas e 1 gênero de xantofíceas.

Na Tabela 13 é apresentada a lista das classes e gêneros de fitoplâncton encontrados no reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa), no período de coleta de inverno.

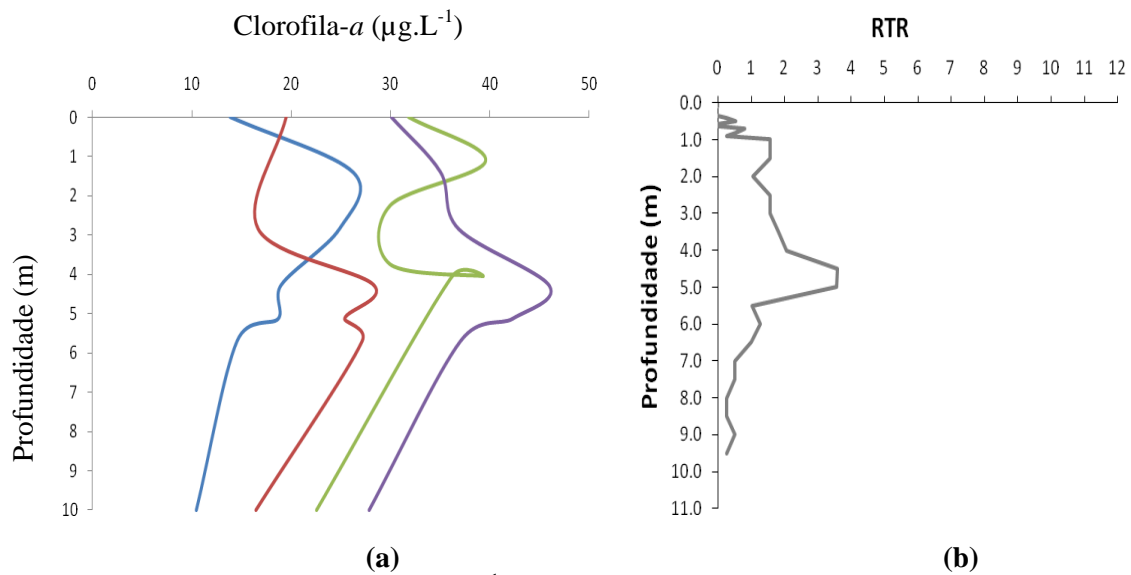
**Tabela 13:** Classes e gêneros de fitoplâncton encontrados no reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa), no período de coleta de inverno.

<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>	<b>CHLOROPHYCEAE</b>	<b>CYANOPHYCEAE</b>
<i>Aulacoseira</i>	<i>Chlorella</i>	<i>Anabaena</i>
<i>Pinnularia</i>	<i>Ankistrodesmus</i>	<i>Chroococcus</i>
<i>Frustulia</i>	<i>Gloeocystis</i>	<i>Oscillatoria</i>
<i>Nitzschia</i>	<i>Oocystis</i>	<i>Microcystis</i>
<i>Diatoma</i>	<i>Chlorococcum</i>	<i>Merismopedia</i>
<i>Surirella</i>	<i>Closteriopsis</i>	
<i>Stauroneis</i>	<i>Coelastrum</i>	<b>EUGLENOPHYCEAE</b>
<i>Cymbella</i>	<i>Desmodesmus</i>	
<i>Amphipleura</i>	<i>Dictyosphaerium</i>	<i>Euglena</i>
<i>Navicula</i>	<i>Westella</i>	<i>Phacus</i>
<i>Hippodonta</i>	<i>Sphaerocystis</i>	<i>Lepocinlis</i>
<i>Tabellaria</i>	<i>Eudorina</i>	<i>Trachelomonas</i>
<i>Fragilaria</i>	<i>Tetraedron</i>	
<i>Gomphonema</i>	<i>Selenastrum</i>	<b>ZYGNEMATOPHYCEAE</b>
<i>Gyrosigma</i>	<i>Scenedesmus</i>	
	<i>Kirchneriella</i>	<i>Staurodesmus</i>
<b>CHRYSOPHYCEAE</b>	<i>Tetrallantos</i>	<i>Staurastrum</i>
	<i>Asterococcus</i>	<i>Amscottia</i>
<i>Dynobrion</i>	<i>Pandorina</i>	<i>Netrium</i>
	<i>Treubaria</i>	<i>Closterium</i>
<b>XANTHOPHYCEAE</b>		<i>Spondylosium</i>
<i>Isthmochloron</i>		

Na coleta de inverno, foram observados 15 gêneros de bacilariofíceas, 20 gêneros de clorofíceas, 5 gêneros de cianofíceas, 4 gêneros de euglenofíceas, 2 gêneros de crisofíceas, 6 gêneros de zignematofíceas e 1 gênero de xantofíceas.

#### 4.3.5. Máxima de clorofila de subsuperfície (SCM)

Observa-se na Figura 29 a formação de máxima de clorofila de subsuperfície (SCM) na coluna de água na coleta de inverno.



**Figura 29:** (a) Concentração ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) de clorofila-*a* na coluna de água da coleta de inverno. Formação de SCM. Dia 10/08/09 – azul; dia 11/08/09 – vermelho; dia 12/08/09 – verde e dia 14/08/09 – roxo e (b) RTR no dia 14/08/09.

A formação de uma SCM ocorreu no último dia de coleta do inverno, como observado na Figura 29.

## 5. DISCUSSÃO

---

### 5.1. Variáveis físicas e químicas

Na etapa de processamento dos dados de campo e análise dos resultados observou-se que a variabilidade das forçantes meteorológicas é grande, existindo alguns dias em que ocorre uma certa periodicidade das condições meteorológicas, mas que é logo modificada pela ocorrência de distúrbios, como a passagem de frentes frias.

A frente fria é definida por Varejão-Silva (2005) e Gallucci e Netto (2004) como uma zona de transição entre duas massas de ar de densidade, temperatura e pressão diferentes e ocorre quando a massa de ar frio força a massa de ar quente a subir. Monteiro (1967) classificou a sequência de dias em que ocorre a atuação de uma massa de ar Polar em quatro fases distintas: 1. Prenúncio da penetração de uma massa Polar sobre a região definida; 2. Avanço da frente fria sobre a região (momento da entrada da frente e efetiva atuação da massa polar); 3. Domínio da massa Polar e 4. Transição ou tropicalização da massa Polar.

A passagem destas frentes frias exerce uma influência muito grande no comportamento de corpos de água, sejam eles marítimos ou continentais. Cobb et al. (2008) observaram que as frentes frias têm um significativo impacto na ressuspensão e transporte de sedimentos na Bacia de Atchafalaya, EUA. Rodrigues et al. (2004) observaram que as frentes frias ocasionam alterações significativas das correntes e das marés, afetando atividades marítimas, de pesca e navegação. Já em ambientes continentais, Tundisi et al. (2004) notaram que as frentes frias estão intimamente relacionadas com a estratificação e com o comportamento de variáveis físicas, químicas e biológicas em reservatórios, que pode ter implicações na dinâmica de populações fitoplanctônicas nesses ecossistemas.

O reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) apresentou ao longo dos quatro dias de coleta do período de verão e de inverno uma estratificação das variáveis químicas e físicas na fase de prenúncio da frente fria e na fase de domínio da massa Tropical.

A fase de prenúncio do presente estudo pode ser representada pelos dias 11 de fevereiro e 10 de agosto, Figuras 6a e 7a, respectivamente. Já a fase de domínio da massa Tropical pode ser representada pelo dia 14 de agosto, na Figura 7a deste estudo. Nesta situação, temperatura mais elevada foi observada na superfície do que nas áreas mais profundas devido ao aquecimento direto pela radiação solar; oxigênio dissolvido em maior concentração na superfície devido à fotossíntese do fitoplâncton concentrado próximo à superfície e a troca gasosa entre a represa e o ar atmosférico; pH mais elevado na superfície devido à atividade fotossintética e mais baixo nas maiores profundidades devido à decomposição de matéria orgânica no fundo da represa, produzindo  $H^+$ ; maior concentração de TDS no fundo da represa devido à proximidade do sedimento e menor condutividade na superfície, Figuras 11 e 12.

Durante a passagem das frentes frias nos dois períodos de coletas realizados, observou-se uma queda na temperatura do ar como mostrada na Tabela 2. No verão, a temperatura do ar antes da passagem da frente fria era  $27^{\circ}C$ , depois da passagem da frente fria, alcançou  $20^{\circ}C$ . No inverno, no primeiro dia de coleta a temperatura era  $19^{\circ}C$  e depois da passagem da frente fria alcançou  $10^{\circ}C$ . De acordo com Gough (2008), a queda de temperatura acompanha a passagem das frentes frias. Além da queda de temperatura, observou-se também uma variação na velocidade do vento, antes, durante e após a passagem da frente fria. De acordo com Tundisi et al. (2007), com a passagem da frente fria o estresse do vento aumenta e a radiação solar e a temperatura ambiente diminuem.

A velocidade do vento variou de quase  $0,0 \text{ m.s}^{-1}$  nos dias 12 de fevereiro e 10 de agosto a  $3,0 \text{ m.s}^{-1}$  nos dias 11 e 13 de fevereiro e de  $7 \text{ m.s}^{-1}$  no dia 11 de agosto. Pode-se observar que logo antes da entrada da frente fria ocorreu a diminuição da velocidade do vento para valores próximos a zero, voltando a aumentar nos dias subsequentes, juntamente com a passagem da frente fria. Rodrigues et al. (2004) também encontraram velocidade quase nula logo antes da entrada da frente fria no litoral de Santa Catarina. Tundisi et al. (2004; 2006; 2007) verificaram que após as passagens das frentes frias, no reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa), há um período de calmaria caracterizado por uma estabilidade térmica, química e biológica nos sistemas aquáticos. Neste estudo, nas Figuras 8a e 8b, observa-se uma diminuição da velocidade do vento com a dissipação das frentes frias. Na Figura 8b nota-se até uma constante na velocidade do vento nos dias 12, 13 e 14 de agosto.

Com a passagem da frente fria, a queda da temperatura e o estresse do vento, há uma quebra da estabilidade do sistema com a desestratificação do reservatório. De acordo com Tundisi et al. (2007), o aumento do estresse do vento provocado pela passagem da frente fria promove uma mistura vertical da água que resulta na desestratificação da coluna de água e, conseqüentemente, na homogeneização das variáveis físicas e químicas, o que pode ser observado nas Figuras 11 e 12. No inverno, porém, como no primeiro dia de coleta houve a entrada da frente fria, a tendência à desestratificação iniciou-se logo no primeiro dia de coleta.

O estresse do vento tem um papel muito importante na dinâmica e comportamento de corpos de água e já foi estudado em diversos trabalhos, como o de Moreno-Ostos et al. (2009) em quatro reservatórios em Portugal, que observaram que a resposta da biomassa fitoplanctônica superficial a mudanças a curto prazo do estresse do vento foi rápida, em escala de minutos e o trabalho de Serra et al. (2007), que estudaram o papel do vento na dinâmica do fitoplâncton e de um reservatório no Mediterrâneo e observaram que a força do vento junto com fenômenos ondulatórios e o aquecimento solar, determinam a distribuição do fitoplâncton. Elçi (2008) estudou o efeito da estratificação termal na qualidade da água em um reservatório na Turquia e o papel da mistura vertical provocado pelo vento na desestratificação deste corpo de água e observou que a estratificação durante períodos quentes e calmos age como uma barreira de contenção de mistura da coluna de água. A água quente no epilimnio foi incapaz de se mover através da fria e densa água do hipolimnio.

Harris (1986) define que a mistura vertical em escala de metros pode levar aproximadamente 24 horas em águas superficiais, enquanto a mistura horizontal em escala de quilômetros pode levar o mesmo período. Essa situação pôde ser vista no presente estudo, onde cerca de 24 horas após da passagem da frente fria houve mistura vertical na represa Carlos Botelho (Lobo/Broa).

Os resultados da Resistência Térmica Relativa (RTR) reforçam a formação e quebra da estratificação da coluna de água na represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) do presente estudo. Tanto no verão quanto no inverno, antes da passagem da frente fria, houve resistência térmica. A RTR observada no verão foi maior (Figura 15) do que a observada no inverno (Figura 16), enquanto no verão chegou a 45, no inverno não passou de 10. Este fato

deve-se, provavelmente, porque no inverno a baixa temperatura e os eventos que favorecem a desestratificação, como por exemplo ventos e passagem de frentes frias, são mais frequentes. As microestratificações presentes na coluna de água na coleta de verão deve-se, provavelmente, a influência das correntes de advecção. Estes eventos são mais frequentes nesta época do ano pois a ocorrência de chuvas é maior, o que favorece o transporte horizontal por correntes de advecção provenientes dos afluentes. Como pode ser observado no presente estudo, ocorreu precipitação no segundo, terceiro e quarto dia de coleta de verão.

A zona eufótica é a camada iluminada da massa de água. De acordo com Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008), sua profundidade depende da absorção da luz pela água, da transmitância, da concentração de partículas em suspensão, do fitoplâncton, do zooplâncton e da quantidade de substâncias orgânicas dissolvidas. Ela pode variar diariamente, por estação ou por eventos climatológicos importantes, tais como frentes frias, períodos de circulação e estabilidade da coluna de água. Como observado neste trabalho, na Figura 13 para a coleta de verão e Figura 14 para a coleta de inverno, a zona eufótica variou com a passagem da frente fria. No verão, a zona eufótica alcançava a profundidade de 6,30 metros no primeiro e no segundo dia de coleta, no terceiro dia obteve o menor valor, 5,4 metros e no último dia de coleta, apresentou 5,7 metros. Na coleta de inverno, o primeiro, segundo e o quarto dia apresentaram 5,7 metros de zona eufótica, diminuindo apenas no terceiro dia, alcançando 4,5 metros.

Entre as concentrações dos íons, na coleta de verão (Tabelas 4 e 5), apenas os ânions fluoreto e cloreto e os cátions sódio, amônio e cálcio apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Já na coleta de inverno (Tabelas 6 e 7), apenas o cátion cálcio e amônio apresentaram diferenças significativas entre os dias de coleta. Apesar destas diferenças, não indicam alguma relação com a passagem da frente fria.

As concentrações de nitrato encontradas no verão foram mais baixas que no inverno, variando de 0 a 10,40  $\mu\text{g.L}^{-1}$  no verão e de 3,79 a 160,96  $\mu\text{g.L}^{-1}$  no inverno. No trabalho de Tundisi (1977) a média da concentração de nitrato no reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) encontrada foi de 5,08  $\mu\text{g.L}^{-1}$ . Estes valores, apesar da alta variação, corroboram com diversos trabalhos realizados no reservatório Carlos Botelho (Lobo/Broa), como o de Luzia (2009), cujas concentrações variaram de 260  $\mu\text{g.L}^{-1}$  no inverno a 95  $\mu\text{g.L}^{-1}$  no verão; e o relatório P&D da Elektro (2005/2007), cuja concentração de nitrato variava de

4,4  $\mu\text{g.L}^{-1}$  no mês de fevereiro de 2006 a 175,94  $\mu\text{g.L}^{-1}$  no mês de dezembro de 2006. Os estudos até agora realizados na região tropical não evidenciam um padrão definido. Sua concentração é geralmente mais baixa durante o período de estratificação térmica do que durante o período de circulação. Isso porque no epilímnio, que fica isolado das camadas inferiores, o nitrato é assimilado pelo fitoplâncton e no hipolímnio com baixas concentrações de oxigênio, ocorre a sua amonificação (PETTERSSON et al., 2003).

O fosfato inorgânico (PI) é um componente fundamental para o crescimento e para o funcionamento do fitoplâncton, uma vez que é o componente de ácidos nucleicos e adenosina trifosfato (PATEY et al., 2008). A concentração de fosfato inorgânico no presente estudo na represa Carlos Botelho (Lobo/Broa), durante a coleta de verão, estava mais alta no primeiro dia de coleta (11/02/09); no terceiro dia de coleta, com o rápido crescimento do fitoplâncton e o consumo do PI pelos grupos fitoplanctônicos, houve uma redução deste nutriente em toda a coluna de água, como mostra a Figura 18a.

Na coleta de inverno, a concentração de fosfato inorgânico apresentou um comportamento distinto ao obtido no verão. A concentração encontrada no terceiro dia de coleta aumentou apesar da alta multiplicação do fitoplâncton (Figura 19a). Este fato pode ser explicado, provavelmente, pelo maior estresse do vento em relação à coleta de verão, como observa-se na Figura 8. Quanto maior o estresse do vento, mais força para ressuspender uma maior quantidade de sedimento e conseqüentemente, disponibilizar uma maior concentração de nutrientes renovados. Gallucci e Netto (2004) analisaram o efeito das frentes frias numa região costeira de Santa Catarina e observaram que durante o inverno elas se apresentam mais intensas e rigorosas.

Gloss et al. (1980) concluíram que a ciclagem de nutrientes na maioria dos lagos é controlado primariamente por processos internos, como a regeneração dos nutrientes, que depende principalmente da mistura induzida pelo estresse do vento.

O fósforo total refere-se a todo composto que contém fósforo presente na coluna de água, seja ele dissolvido na água, incorporado nos organismos, orgânico ou inorgânico. A concentração de fósforo total no verão, ao contrário do fosfato inorgânico, aumenta no terceiro e quarto dia de coleta, isso ocorre devido à incorporação do fosfato pelas algas, aumentando, portanto, a concentração de fósforo total na coluna de água, como



observado na Figura 18b deste trabalho. O fósforo total analisado no inverno apresentou o mesmo comportamento do que no verão, aumentando sua concentração com a multiplicação das algas, novamente devido a incorporação do fosfato inorgânico pelos organismos fitoplanctônicos (Figura 19b). Outros fatores que podem ter colaborado para o aumento da concentração de PT foram o aumento do estresse do vento tanto no verão quanto no inverno e a precipitação na coleta de verão.

O nitrogênio é também um elemento essencial ao metabolismo do ecossistema aquático; quando presente em baixas concentrações, portanto, pode atuar como fator limitante na produção primária de lagos e reservatórios. Ramos-Higuera et al. (2008) estudaram o papel do nitrogênio como elemento limitante em um lago tropical oligotrófico do México e observaram que quando em baixas concentrações no epilímnio, reduz a produção fitoplanctônica do lago. No presente estudo, os valores encontrados de NTK podem ser visualizados na Figura 17a e 17b, para o verão e para o inverno, respectivamente. No verão, os valores encontrados foram menores do que no inverno, variando de 0,15 a 0,45 mg.L<sup>-1</sup> no verão e de 0,25 a 0,70 mg.L<sup>-1</sup> no inverno.

A sílica é um importante componente das diatomáceas para a formação das frústulas e o crescimento deste grupo fitoplanctônico está intimamente relacionado com a disponibilidade de sílica nos corpos de água (LEYNAERT et al., 2001). Na Figura 21b, de inverno, observa-se que a disponibilidade de sílica como um todo é maior no primeiro dia de coleta. A disponibilidade da sílica na coluna de água, porém, diminui a cada coleta, à medida que a concentração de fitoplâncton, principalmente das diatomáceas, aumenta. Isso demonstra a incorporação da sílica nas diatomáceas para a construção das frústulas. Este mesmo comportamento foi observado no trabalho de Gallucci e Netto (2004) na região costeira de Santa Catarina, de Tanaka et al. (2009) na bacia de Tokio e de Muylaert et al. (2009) em um rio da França. No primeiro dia de coleta de inverno, o pico de sílica, entre 5 e 6 metros, coincide com o pico de diatomáceas observado na coluna de água.

No verão, Figura 21a, o padrão apresentado pela sílica diferiu-se do inverno. A concentração de sílica aumentou em cada dia de coleta mesmo com o aumento do número de diatomáceas na coluna de água. Este fato pode ser explicado, provavelmente, devido à chuva nos dias 12, 13 e 14 de fevereiro, que carregou sílica da bacia hidrográfica local para a represa.

## 5.2. Variáveis biológicas

Durante a coleta de verão, notou-se uma diferença na concentração de clorofila-*a* encontrada na coluna de água entre os quatro dias de coleta. No primeiro dia de coleta, dia 11/02, a maior concentração encontrada de clorofila-*a* foi na camada superficial, Figura 22a, nesta situação, com a coluna estratificada e sem mistura entre o epilimnio e o hipolímnio, o fitoplâncton encontrava na superfície melhores condições para seu crescimento. Neste dia, oxigênio dissolvido e temperatura mais elevada foram observadas na superfície (Figura 11).

Esta mesma situação foi observada durante a coleta de inverno, Figura 22b. No primeiro dia de coleta observaram-se maiores taxas de clorofila-*a* na superfície.

A partir do segundo até o quarto dia de coleta, tanto no verão quanto no inverno, com a passagem da frente fria e a mistura da coluna de água, houve um gradativo aumento da concentração de clorofila-*a* em toda a coluna de água. No inverno, como a desestratificação foi mais completa, o aumento da clorofila-*a* tornou-se praticamente homogênea até as regiões mais profundas. Já no verão, apesar de aumentar a concentração como um todo, a região mais profunda da coluna de água apresentou metade da concentração encontrada na região perto da superfície.

Quando a coluna de água está estratificada, pode ocorrer em uma determinada camada na subsuperfície uma maior concentração de nutrientes. Neste ponto, a combinação da maior disponibilidade de nutrientes e a entrada de luz formam um ambiente ideal para o crescimento e desenvolvimento de algas. Esta situação é caracterizada pela presença da máxima de clorofila de subsuperfície (*Subsurface Chlorophyll Maximum*) ou SCM, marcada por picos de clorofila-*a* em regiões abaixo da superfície da coluna de água, principalmente na termoclina (CERMEÑO et al., 2006). No presente estudo, quando comparado o pico de clorofila do quarto dia de coleta de inverno com a RTR, observa-se na mesma profundidade do pico a formação da resistência térmica relativa, o que provavelmente favoreceu o aumento da clorofila.

Em qualquer massa de água existem populações de muitas espécies que coexistem e se superpõem. Cada espécie alcança uma densidade máxima, espacial ou temporalmente, decrescendo na abundância quando as condições não são tão favoráveis.

Margalef (1983) argumenta que a distribuição do fitoplâncton é o resultado da interação entre os ciclos de vida de grande número de espécies e as propriedades seletivas do meio ambiente, as quais diferem espacial e temporalmente. Portanto, a coexistência das espécies se explica, em termos de uma maior eficiência ou adaptação de cada grupo a certa combinação de características ambientais, o que torna possível estabelecer certo tipo de resposta comum a estímulos ou fatores específicos.

No estudo da composição da comunidade fitoplanctônica da represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa), na coleta de verão, foram encontrados: 14 gêneros de bacilariofíceas, 21 gêneros de clorofíceas, 7 gêneros de cianofíceas, 8 gêneros de euglenofíceas, 7 gêneros de zignematofíceas, 2 gêneros de crisofíceas e 1 gênero de xantofíceas. Na coleta de inverno, foram encontrados: 15 gêneros de bacilariofíceas, 20 gêneros de clorofíceas, 5 gêneros de cianofíceas, 4 gêneros de euglenofíceas, 6 gêneros de zignematofíceas, 1 gênero de crisofíceas e 1 gênero de xantofíceas (Tabelas 12 e 13). Hutchinson (1967) considerou que a coexistência de muitas espécies em um plâncton constitui um paradoxo, pois contradiz a teoria ecológica mais comum, segundo a qual a operação de competência excluiria ou faria segregar as espécies de necessidades coincidentes. Porém, Margalef (1983) afirmou que a morfologia funcional do fitoplâncton oferece estratégias divergentes de sobrevivência em um meio rico em possibilidades. Outro fator importante é que os corpos de água, estando susceptíveis a diversos fatores climatológicos, hidrológicos, e biológicos, como vento, precipitação e predação, estão, portanto, em constante mudança, favorecendo diferentes comunidades fitoplanctônicas espacialmente e temporalmente. Reynolds (1986) argumenta que o resultado da interação entre diferentes circunstâncias e processos do corpo de água determina, com frequência, o predomínio de determinadas espécies.

Numa escala local as variáveis abióticas exercem forte influência no estabelecimento das espécies e, conseqüentemente, na diversidade local. Já numa escala temporal a comunidade está sujeita a processos estocásticos como a passagem de frentes frias. Segundo Ricklefs (2001) distúrbios são mudanças numa comunidade ou população, causada

por influencia externa e que desloquem o sistema ecológico de seu equilíbrio. A frequência e a intensidade de ocorrência dos distúrbios influenciam na diversidade de comunidades. Segundo a hipótese da perturbação intermediária (CONNEL, 1978), uma comunidade submetida a um nível intermediário de perturbação apresentaria maior diversidade do que quando submetida a grandes ou pequenas perturbações.

Hino (1979) considerou que para lagos e represas tropicais rasos, ambientes geralmente sujeitos a muita turbulência, torna-se difícil o reconhecimento dos fatores mais importantes na determinação das variáveis do fitoplâncton. Este autor cita como exemplo a represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa), que a precipitação, predação seletiva e reciclagem dos nutrientes são os fatores principais agindo na distribuição fitoplanctônica.

Tundisi et al. (2004) demonstraram na represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) que distúrbios atmosféricos, como a passagem de frentes frias, estão intimamente relacionados com a estratificação e com o comportamento de variáveis físicas, químicas e biológicas e que têm implicações na dinâmica e na sucessão de populações fitoplanctônicas.

De acordo com Odum (1969) e Reynolds (1997), a sucessão é a principal manifestação do desenvolvimento dos ecossistemas. O conhecimento teórico e a determinação dos processos de sucessão têm também uma importante aplicação prática: possibilitam, até certo ponto, o controle da sucessão de populações e comunidades, especialmente em ecossistemas aquáticos onde há possibilidades de manipulação de funções de forças externas que controlam, por exemplo, tempos de retenção e mistura e estratificação vertical (Reynolds, 1997 e Tundisi et al. 2004).

Diversos trabalhos estudaram a influência das frentes frias e da mistura da coluna de água na composição e na dinâmica dos grupos fitoplanctônicos em corpos de água, sejam eles marinho ou continental, como por exemplo o trabalho de Blukacz et al. (2009), que estudaram o papel do vento na concentração de clorofila-*a* em um lago do Canadá e observaram que a concentração de clorofila-*a* aumenta com o maior aumento da velocidade do vento, e o trabalho de Pannard et al. (2007), que estudaram os efeitos de eventos do vento sobre a dinâmica do fitoplâncton em dois reservatórios temperados da França e observaram que a mistura da coluna de água provocada pelo vento proporciona uma reorganização dos

grupos fitoplanctônicos, como por exemplo a diminuição da biomassa e da capacidade fotossintética das algas pequenas.

No presente trabalho, o comportamento de 7 grupos fitoplanctônicos, Chlorophyceae, Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Euglenophyceae, Chrysophyceae, Zygnematomphyceae e Xanthophyceae distribuídos em 7 camadas ao longo da coluna de água, no verão e no inverno, foram observados com o auxílio da sonda FluoroProbe e através da contagem, pela metodologia descrita por Utermöhl (1958).

No primeiro dia de coleta realizada no verão, antes da passagem da frente fria, a partir da concentração obtida com a sonda FluoroProbe, observa-se uma maior concentração de fitoplâncton, especialmente de Bacillariophyceae (43,35%), seguida de Chlorophyceae (30,36%), nas regiões próximas à superfície na coluna de água. Concentrações maiores de cianofíceas e de criptofíceas foram encontradas também na superfície da coluna de água (Figura 23). Essa situação pode ser explicada pela maior temperatura e maior intensidade da radiação solar nas regiões mais próximas à superfície, que favorecem o crescimento do fitoplâncton. Nas regiões mais profundas, porém, há uma diminuição e uma quase homogeneização das classes de fitoplâncton. Nota-se que o comportamento dos quatro grupos foi muito semelhante, diminuindo a concentração de todos em cerca de 3,5 metros.

Este mesmo comportamento obteve-se com os dados obtidos a partir da contagem, Figura 25. No primeiro dia da coleta de verão, a concentração das diatomáceas foi maior do que a dos outros grupos fitoplanctônicos. O segundo grupo mais abundante foi o grupo das clorofíceas. A maior concentração do fitoplanctôn também ocorreu na superfície, diminuindo gradativamente a concentração até o fundo da represa. De acordo com Huisman (1999), Diehl et al. (2002, 2005) e Jäger et al. (2008), a comunidade fitoplanctônica decresce na coluna de água a medida que a profundidade aumenta e a intensidade luminosa diminui devido principalmente à limitação luminosa.

A maior densidade de diatomáceas na coleta de verão mesmo em períodos calmos, deve-se a própria característica da represa em estudo, rasa e polimítica, que favorece a ressuspensão das algas. Este mesmo resultado também foi observado em alguns trabalhos,

como por exemplo de Luzia (2009), que observou que as bacilariofíceas é o grupo dominante da represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa).

Na contagem, observou-se um aumento, principalmente de Cyanophyceae, Bacillariophyceae e Euglenophyceae, entre as profundidades de 2 a 3 metros. Observa-se também neste dia de coleta um aumento de fosfato inorgânico na mesma profundidade, cerca de 2 a 3 metros. Um pequeno aumento de NTK também é observado nesta profundidade. Estes aumentos podem ter se formado devido à presença da termoclina, como observa-se na Figura 15, que forma uma barreira impedindo a dispersão e sedimentação dos nutrientes. A maior concentração destes nutrientes na coluna de água favorece o aumento da concentração do fitoplâncton. Nesta camada, onde a temperatura muda rapidamente, quando os organismos que estão sedimentando chegam a ela, são barrados por causa da maior densidade da água e são favorecidos pela maior concentração de nutrientes, por isso concentram-se e multiplicam-se na termoclina (INFANTE, 1988).

A Figura 23 apresenta a disposição dos grupos fitoplanctônicos na fase de avanço da frente fria; nesta situação, o estresse do vento (BLUKACZ et al., 2009) proporciona um aumento da concentração das bacilariofíceas. De acordo com Nakamoto et al. (1976), o crescimento de colônias de bacilariofíceas, particularmente *Aulacoseira italica*, se dá com a renovação dos nutrientes no sedimento, a ressuspensão das algas que estavam dormentes no sedimento e sua rápida multiplicação na coluna de água, o que faz com que dominem na coluna de água.

Como estas células são relativamente grandes, com paredes celulares densas, isso faz com que elas afundem rapidamente (SMOL et al., 1984). Estas algas são beneficiadas pela mistura turbulenta da coluna de água que faz com que permaneçam suspensas nas camadas de água da zona eufótica (HUISMAN et al., 2004). Esse mesmo comportamento foi também observado no trabalho de Brandini e Rebello (1994) na costa da Ilha do Rei George, na Antártica, De Jonge e Van Beusekom (1995) no rio Ems, que faz fronteira com a Holanda e a Alemanha, De Jonge (2000) no rio Ems e Gallucci e Netto (2004) na costa de Santa Catarina.

A Figura 25, referente à contagem no segundo dia de coleta do verão, nota-se também um aumento vertical da concentração das diatomáceas.

No terceiro dia de coleta observa-se, tanto com a análise da FluoroProbe quanto na contagem, uma tendência à homogeneização das diatomáceas na coluna de água. Isto deve-se à sedimentação destas algas. Após a passagem das frentes frias, as bacilariofíceas recomeçam a sedimentação. De acordo com diversos trabalhos, como o de Ganf (1974), Hammer (1974) e Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008), fatores climatológicos e sedimentação são alguns dos principais fatores que influenciam a produção fitoplancônica.

A sedimentação do fitoplâncton apresenta tanto vantagens como desvantagens para estes organismos. A desvantagem é a diminuição ou nenhuma disponibilidade da radiação solar; já a vantagem é a renovação periódica das camadas de nutrientes próximas às células, que ocorre à medida que estas se deslocam verticalmente e passam através das camadas de água com diferentes concentrações de nutrientes (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

A concentração das Euglenophyceae diminui com a passagem das frentes frias. Este fato pode ser explicado devido à competição com as Chlorophyceae e Bacillariophyceae. Yoshiyama et al. (2009) também observaram a competição do fitoplâncton pela luz e por nutrientes.

Principalmente no verão, onde a intensidade luminosa é muito alta, imediatamente abaixo da superfície, o plâncton é no geral escasso porque as células que sedimentam não são repostas desde os níveis superiores e porque uma permanência muito prolongada em alta intensidade luminosa, provoca uma diminuição da taxa de fotossíntese pela destruição ou inibição fotooxidativa de certas enzimas.

Na coleta de inverno, apresentada na Figura 24 na FluoroProbe, e Figura 27 na contagem, houve uma inversão do grupo dominante na coluna de água. Neste caso, o domínio dá-se pelas clorofíceas, pois, de acordo com Reynolds (1984), as clorofíceas ocorrem em diversas temperaturas, enquanto que os demais gêneros são melhores adaptados a temperaturas mais elevadas, como por exemplo as Cyanophyceae, cuja temperatura ótima é entre 28 e 32°C.

Como observado no verão, a passagem da frente fria na coleta de inverno também provocou o aumento da concentração das diatomáceas, mas também aumentou a concentração das clorofíceas, o que fez com que este grupo continuasse a dominar na coluna de água durante todo o período de coleta.

Os resultados da contagem fitoplanctônica diferiram dos resultados da análise com a sonda nas regiões mais profundas. Nestas áreas, nota-se que a sonda subestimou a concentração das diatomáceas; enquanto que com a contagem, a concentração das diatomáceas superou a concentração das clorofíceas. Em comparação com outros grupos de fitoplâncton, as diatomáceas têm taxas de crescimento relativamente elevadas e geralmente são adaptadas em águas com baixos níveis de luz com altas taxas de nutrientes (REYNOLDS, 2006). Estes requisitos de crescimento podem limitar o crescimento temporal e espacial das diatomáceas planctônicas em situações não turbulentas.

Apesar desta diferença encontrada entre contagem e sonda, pode-se verificar, como um todo, que a análise com a FluoroProbe pode ser utilizada para visualizar a dinâmica e o comportamento geral dos grupos fitoplanctônicos na coluna de água.

O semelhante padrão do comportamento dos grupos fitoplanctônicos, tanto no verão quanto no inverno, demonstram que estes grupos não organizam-se aleatoriamente na coluna de água, mas sim, que seguem algum mecanismo intrínseco na represa, como concentração de nutrientes, processos de estratificação em pequena escala como os processos advectivos de transporte de fluxos laminares, estudado por Imberger (1985) causado por exemplo pela influência da água mais densa dos tributários.

Na represa da UHE Carlos Botelho, observou-se diferentes escalas de tempo quanto à variação e sucessão fitoplanctônica. À curto prazo pode ser relacionado com eventos meteorológicos e perturbações ambientais. No presente estudo está relacionado com a passagem da frente fria, que foi capaz de alterar a comunidade fitoplanctônica em poucos dias. À longo prazo, porém, pode ser relacionado à época do ano, no estudo, verão e inverno. No verão, o grupo fitoplanctônico dominante observado foi as diatomáceas e no inverno as clorofíceas.



As forçantes ambientais em reservatórios tropicais polimíticos apresentam grande variabilidade temporal em termos de intensidade e frequência dos eventos que, juntamente com mudanças nas regras operacionais, conduzem também a grande variabilidade no funcionamento e nas respostas desses ambientes. Estas funções de forças constituem uma entrada de energia cinética promovida pelo vento, influxo de rios, aquecimento atmosférico, precipitação, entre outros (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

O reservatório Carlos Botelho (Lobo/Broa) é um ecossistema polimítico com flutuações promovidas pela chuva e o vento. As forças externas que influenciam os processos de mistura nas escalas horizontal e vertical neste reservatório são: vento, penetração de água de afluentes (correntes de advecção) e tempo de retenção. Em reservatórios com pouca estratificação, o principal forçante meteorológico para a circulação da água, geralmente, é a tensão do vento junto à superfície. Quando há estratificação, o fluxo de calor na superfície e portanto a temperatura do ar próximo à superfície se tornam importante.

A concentração de nutrientes presente no reservatório no inverno é relativamente mais alta do que no verão. Este fato pode ser explicado pela maior taxa de renovação dos nutrientes a partir do sedimento no inverno, além de que no inverno as temperaturas mais baixas e os eventos de desestratificação da coluna de água são mais frequentes, o que corrobora com a maior produção primária neste período. De acordo com Ramos-Higuera et al. (2008), a concentração de nutrientes está associada aos períodos de mistura e estratificação da coluna de água.

A menor quantidade de nutrientes presente no verão pode ser um fator limitante para o crescimento fitoplanctônico. Tundisi et al. (2008), em um estudo em Barra Bonita, SP, obtiveram o mesmo resultado, onde a maior produção primária ocorreu no período de inverno devido, principalmente, à regeneração dos nutrientes do sedimento. Além da maior regeneração de nutrientes no inverno, o reservatório em estudo por ser considerado um sistema mesoligotrófico (TUNDISI, 1977 e PELÁEZ-RODRÍGUEZ e MATSUMURA-TUNDISI, 2002), não favorece o crescimento do fitoplâncton.

Este mesmo trabalho demonstrou que o conjunto de áreas alagadas que existe em todos os afluentes da represa tem um papel importante na manutenção da condição

mesoligotrófica do reservatório. Whitaker et al. (1995) demonstraram que a área alagada retira 30% da carga de nitrogênio e fósforo que chega ao reservatório.

Sistemas de águas rasas estão submetidos a uma variedade de eventos episódicos naturais e antrópicos que diferem em previsibilidade, frequência e intensidade. Mudanças significativas nestes sistemas têm sido atribuídas a acontecimentos climáticos incomuns, tais como grandes tempestades que levam a homogeneização da coluna de água e do movimento no sedimento grosso ou a alterações imprevisíveis no estresse vento ou a eventos antrópicos como descarga de nutrientes.

No entanto, os resultados deste estudo demonstram que eventos meteorológicos de alta frequência previsíveis a curto prazo, como a passagem de frentes frias, desempenham um papel importante na estruturação de reservatórios, especialmente na represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa). Esse mesmo resultado foi demonstrado no trabalho de Gallucci e Netto (2004), porém, dando enfoque a ambientes costeiros.

Na represa estudada, observou-se que a passagem das frentes frias alterou, a curto prazo, a disponibilidade de nutrientes, e, conseqüentemente, a concentração e disposição do grupo fitoplanctônico devido tanto à ressuspensão das diatomáceas que estavam dormentes no sedimento, quanto à maior disponibilidade de nutrientes em toda a coluna de água, como também demonstrado por Gallucci e Netto (2004).

Este trabalho demonstra a importância do estudo das frentes frias para a compreensão dos fenômenos de circulação global dos sistemas aquáticos, especialmente de represas rasas.

Os resultados obtidos podem também conduzir a um modelo preditivo para o uso como uma ferramenta para a gestão e monitoramento dos reservatórios, uma vez que qualquer uso da água deve levar em conta a quantidade e qualidade desta. Com estes resultados, é importante considerar a capacidade de predição determinada pela interação de frentes frias com a qualidade da água do reservatório, que irá refletir nos custos de tratamento e na disponibilidade de água (TUNDISI et al., 1998).

## 6. CONCLUSÕES

---

1. A frente fria tem um papel importante na estruturação da represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa), uma vez que, sendo um fenômeno climatológico frequente no sudeste brasileiro, é responsável pela quebra da estabilidade no reservatório devido ao estresse do vento que atua na superfície promovendo mistura vertical da coluna de água;
2. Os grupos fitoplanctônicos, apesar de apresentarem densidades diferentes, ou seja, alguns grupos com concentrações maiores, como no caso das diatomáceas e outros com abundância menores, como as zignematofíceas apresentaram comportamentos muito semelhantes entre si, portanto, não organizam-se aleatoriamente na coluna de água, mas sim, que seguem algum mecanismo intrínseco na represa, como concentração de nutrientes ou processos de estratificação em pequena escala como os processos advectivos;
3. No período de verão, em relação aos outros grupos fitoplanctônicos, a densidade de diatomáceas foi maior mesmo em períodos calmos e não turbulentos. Este fato deve-se a própria característica da represa em estudo, porém, com a passagem da frente fria e a consequente mistura da coluna de água, sua concentração aumenta ainda mais em toda a coluna de água.
4. Independentemente da estação do ano, a passagem das frentes frias propicia o mesmo comportamento geral no reservatório: desestratificação, alterações químicas e físicas da coluna de água e alterações do grupo fitoplanctônico, cujos efeitos podem ser mais ou menos evidentes de acordo com a sua intensidade, duração e a presença ou ausência de chuvas;
5. Na represa da UHE Carlos Botelho, observou-se diferentes escalas de tempo quanto à variação e sucessão fitoplanctônica. À curto prazo pode ser relacionado com a passagem da frente fria. À longo prazo, porém, pode ser relacionado à época do ano, no caso do presente estudo no verão e no inverno;

6. A compreensão do fenômeno das frentes frias é de extrema importância para auxiliar no gerenciamento e monitoramento da qualidade e quantidade de água.

7. O aumento da velocidade do vento, proveniente da passagem da frente fria, parece ser o principal estresse ambiental na represa em estudo. Esta forçante é a principal responsável pela desestratificação da coluna de água, determinando as características físicas e químicas desta além de ressuspender as diatomáceas e proporcionar sucessão fitoplanctônica. Estes processos governam a estrutura biológica e os processos ecológicos e a consequente sucessão fitoplanctônica.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington: APHA/AWWAWWPCF. ed.20, 1998.

ARMENGOL, J.; GARCIA, J.C.; COMERMA, M.; ROMERO, M.; DOLZ, J.; ROURA, M.; HAN, B.H.; WDAL, A.; SIMEK, K. Longitudinal Processes in Canyon Type Reservoir: The case of Sau (N.E. Spain). In: TUNDISI J.G.; STRASKRABA, M. *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. São Carlos – Brazil: International Institute of Ecology, Brazilian Academy of Sciences, and Backhuys Publishers, 1999. p 313-345.

BARTLETT, M. S. Properties of Sufficiency and Statistical Tests. *Proc. Roy. Soc., Ser. A*, v. 160, n. 901, p. 268-282, 1937. Disponível em: <<http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/160/901/268.full.pdf>> Acesso dia 10/01/10

BICUDO, C.M.; BICUDO, R.M.T. *Algas de águas continentais brasileiras*. Fundação brasileira para o desenvolvimento do ensino de ciências, São Paulo, 1970, 228 p.

BICUDO, C.E.M., RAMIREZ R., J.J., TUCCI, A., BICUDO, D. C. Dinâmica de Populações fitoplanctônicas em ambiente eutrofizado: O Lago das Garças, São Paulo. In: Henry, R. (Ed.). *Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais*. 1999.

BICUDO, C.E. de M.; MENEZES, M. *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil*. Chave para identificação e descrições. São Carlos, SP: Editora Rima, 2006, 502 p.

BLUKACZ, E.A.; SHUTER, B.J; SPRULES, W.G. Towards understanding the relationship between wind conditions and plankton patchiness. *Limnol. Oceanogr.*, v. 54, n. 5, p. 1530–1540, 2009. Disponível em <[http://aslo.org/lo/toc/vol\\_54/issue\\_5/1530.pdf](http://aslo.org/lo/toc/vol_54/issue_5/1530.pdf)>. Acesso dia: 07/02/10.

BONATTI, J.P. *Análise observacional da partição de energia em modos verticais: estudo de caso de passagem de frente fria sobre o Brasil*. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002.

BOURRELY, P. *Les algues d'eau douce*. Initiation à la systematique. Tomo I: Les alguesvertes. Paris: Ed. Boubée e Cie, 1972, 572 p.

BOURRELY, P. *Les algues d'eau douce*. Initiation à la systematique. Tomo II: Les alguesjaunes et brunes. Paris: Ed. Boubée e Cie, 1972, 468 p.

BRANCO, C.W.C.; KOSLOWSKY-SUZUKI, B.; SOUSE-FILHO, I.F.; GUARINO, A.W.S.; ROCHA, R.J. Impact of climate on the vertical water column structure of Lajes reservoir (Brazil): a tropical reservoir case. *Lakes and reservoirs: research and management* v.14, p. 175-191, 2009.

BRANDINI, F.P.; REBELLO, J. Wind field effect on hydrography and chlorophyll dynamics in the coastal pelagial of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Antartic Sci*, v. 6, n. 4, p. 433-422, 1994.

CERMEÑO, P.; MARAÑÓN, E.; PÉREZ, V.; SERRET, P.; FERNÁNDEZ, E.; CASTRO, C.G. Phytoplankton size structure and primary production in a highly dynamic coastal ecosystem (Ría de Vigo, NW-Spain): Seasonal and short-time scale variability. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v. 67, p. 251-266, 2006. Disponível em: <[http://webs.uvigo.es/em/cermeno\\_estuarine\\_2006.pdf](http://webs.uvigo.es/em/cermeno_estuarine_2006.pdf)> Acesso dia 10/01/10.

CHELLAPPA, N.T.; COSTA, M.A.M. Dominant and coexisting species of Cyanobacterial from a eutrophicated reservoir of Rio Grande do Norte State, Brazil. *Acta ecologia*, v. 24, p. 53-510, 2003.

CHELLAPPA, N.T.; BORBA, J.L.M.; OLIVEIRA, R.K.; LIMA, A.K.A. Diversidade, co-existência e dominância na comunidade fitoplanctônica da Barragem Cruzeta, Rio Grande do Norte, *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 126-128, jul. 2007.

CHELLAPPA, N.T.; CÂMARA, F.R.A.; ROCHA, O. Phytoplankton community: indicator of water quality in the Armando Ribeiro Gonçalves Reservoir and Pataxó Channel, Rio Grande do Norte, Brazil. *Braz. J. Biol.* v. 69, n.2, 2009.

COBB, M.; KEEN, T.R.; NAN, D. Walker Modeling the Circulation of the Atchafalaya Bay System during Winter Cold Front Events. *Journal of Coastal Research*, v. 24, n. 4, p. 1036-1047, 2008.

CONNELL, J.H. Diversity in tropical rainforest and coral reefs. *Science* v. 199, p.1302-1310, 1978.

DANTAS, E.W.; MOURA, A.N.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M.C.; NETO, J.D.T.A.; CAVALCANTI, A.D.C. Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling intervals in the Mundaú reservoir, Northeastern Brazil, *Acta bot. bras.*, v. 22, n. 4, p. 970-982, 2008. disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abb/v22n4/a08v22n4.pdf>> Acesso em: 05/01/10.

DEFFUNE, G. *O estudo do clima e do tempo atmosférico e o planejamento Ambiental*. Maringá: UEM, n. 16. 1993. 47 p. (Série Apontamentos).

DE JONGE, V.N.; VAN BEUSEKOM, J.E.E. Wind and tide induced resuspension of sediment and microphytobenthos from tidal flats in the Ems estuary. *Limnol Oceanogr*, v. 40, p. 766–778, 1995. Disponível em:< [http://www.aslo.org/lo/toc/vol\\_40/issue\\_4/0766.pdf](http://www.aslo.org/lo/toc/vol_40/issue_4/0766.pdf)> Acesso dia 22/09/09.

DE JONGE, V.N. Importance of temporal and spatial scales in applying biological and physical process knowledge in coastal management, an example for the Ems estuary. *Cont Shelf Res.* v. 20 p. 1655–1686, 2000.

DE LEÓN, L.; BONILLA, S. ; AUBRIOT, L. Fitoplancton. In: AROCENA, R.; CONDE, D. *Metodos en ecología de aguas continentales: con ejemplos de limnología en Uruguay.* montevideo: Dirac, cap. 13. 1999. 107-127pp.

DIEHL, S.; BERGER, S.; PTACNIK, R.; WILD, A. Phytoplankton, light, and nutrients in a gradient of mixing depths: Field experiments. *Ecology.* v. 83, p. 399–411, 2002.

DIEHL, S.; BERGER, S.; WÖHRL, R. Flexible nutrient stoichiometry mediates environmental influences, on phytoplankton and its resources. *Ecology.* v. 86, p. 2931–2945, 2005.

ELÇI, S. Effects of thermal stratification and mixing on reservoir water quality. *Limnology* v. 9, p. 135–142, 2008.

ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A.. *Gestão integrada da qualidade das águas das PCH's da Elektro – Emas (represa Emas) e Carlos Botelho (Lobo-Broa) com a finalidade de promover a conservação e recuperação das bacias hidrográficas do rio Mogi-guaçu e do rio Jacaré-guaçu.* Nº Contrato: 4600003319 e Nº ANEEL: 0385-029/2004. 2005 – 2007.

ESTEVES, F.A. *Fundamentos de limnologia.* 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

GALLUCCI, F.; NETTO, S.A. Effects of the passage of cold fronts over a coastal site: an ecosystem approach, *Marine ecology progress series*, v. 281, p. 79–92, 2004. Disponível em: < <http://www.int-res.com/articles/meps2004/281/m281p079.pdf>> Acesso em: 15/12/09



GAN, M.A. *Ciclogênese e ciclones sobre a América do Sul*. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, SP, 1992.

GANF, G.C. Incident solar irradiance and underwater light penetration as factors controlling the chlorophyll a content of a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). *Journal of Ecology*, v. 62, p. 593-609, 1974.

GEMELGO, M.C.P.; MUCCI, J.L.N.; NAVAS-PEREIRA, D. Population dynamics: seasonal variation of phytoplankton functional groups in Brazilian reservoirs (Billings and Guarapiranga, São Paulo). *Braz. J. Biol.*, v. 69, n. 4, p. 1001-1013, 2009.

GLOSS, S.P.; MAYER, L.M.; KIDD, D.E. Advective control of nutrient dynamics in the epilimnion of a large reservoir. *Limnol. Oceanogr.* v. 25, n. 2, p. 219-228, 1980. Disponível em <[http://www.aslo.org/lo/toc/vol\\_25/issue\\_2/0219.pdf](http://www.aslo.org/lo/toc/vol_25/issue_2/0219.pdf)>. Acesso dia 07/02/10.

GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; ONHSTAD, M.A.M. *Methods for physical and chemical analyses of freshwater*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, p.213, 1978.

GOUGH, W.A. Theoretical considerations of day-to-day temperature variability applied to Toronto and Calgary, Canada data, *Theoretical and Applied Climatology*, v. 94, n. 1-2, 2008.

HAMBRIGHT, K.D.; GOPHEN, M.; SERRUYA, S. Influence of Long-Term Climatic Changes on the Stratification of a Subtropical, Warm Monomictic Lake. *Limnology and Oceanography*, v. 39, n. 5, p. 1233-1242, 1994.

HAMMER, V.T. Primary production: geographical variations. Proc. IBP Symposium at Reading, England, 1974.

HARRIS, G.P. *Phytoplankton Ecology: Structure, Function and Fluctuation*. Londres: Chapman and Hall, 1986.

HENRY, R.; NUNES, M.A.; MITSUKA, P.M.; LIMA, N.DE.; CASANOVA, S.M.C. Variação espacial e temporal da produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP). *Rev. Brasil. Biol.*, v. 58, n. 4, p. 571-590, 1998. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbbio/v58n4/v58n4a4.pdf>> Acesso em: 03/03/08.

HINO, K. *Análise qualitativa e quantitativa do microfitoplancton da represa do Lobo (Broa)*. 1979. 169 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1979.

HINO, K; TUNDISI, J.G. *Atlas da represa do Broa*. 2. ed. Universidade Federal de São Carlos. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Departamento de Ciências Biológicas: Série Atlas, v. 2, 1984, 143 p.

HUBER-PESTALOZZI, G. *Das phytoplankton dès Susswassers*. Systematik und biologie: Cryptophyceae, Chlormonadophyceae, Dinophyceae. Schweizbartsch Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1968, 132 p.

HUISMAN, J. Population dynamics of light-limited phytoplankton: Microcosm experiments. *Ecology*. v. 80, p. 202–210, 1999.

HUISMAN, J.; SHARPLES, J.; STROOM, J.M.; VISSER, P.M.; KARDINAAL, W.E.A.; VERSPAGEN, J.M.H.; SOMMEIJER, B. Changes in turbulent mixing shift competition for light between phytoplankton species. *Ecology*.;v. 85, p. 2960–2970, 2004.

HUSTED, T. *Bacillariophyta*. In: PASCER <A> *Die Susswasser Flora Mitteleuropas*. 2. ed. G. Fischer, Jena. v. 10, 1930, 466 p.

HUSZAR, V.L.M.; REYNOLDS, C.S. Flood plain lake (Lago Batata, Pará, Brazil): responses to gradual environmental change. *Hydrobiologia*, v. 346, p. 169-181, 1997.

HUTCHINSON, G.E. *A treatise on limnology*. New York: John Wiley & Sons, v. 2, 1967, 1115 p.

IMBERGER, J. Transport process in lakes: a review. In: MARGALEF, R. (Ed.). *Limnology now: a paradigm of planetary problems*, Nova York: Elsevier Science. 1994, 99-194 p.

INFANTE, A.G.; *El plancton de las aguas continentales*. Washington: Eva V. Chesneau, D.C. 1988.

JÄGER, C.G.; DIEHL, S.; SCHMIDT, G.M., Influence of water-column depth and mixing on phytoplankton biomass, community composition, and nutrients. *Limnol. Oceanogr.* v. 53, n. 6, p. 2361–2373, 2008.

KIMMEL, B.L.; LIND, O.T.; PAULSON, L.J. Reservoir primary production. In: THORNTON, K.W.; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. (ed.). *Reservoir limnology: an ecological continuum*. New York: John Wiley & Sons, 1990. p.133-193.

KÖPPEN, W. *Grundriss der klimakunde*. Berlin: De Gruyter, 1931. 388 p.

KWON, Y.S.; HWANG, S.J.; PARK, K.S.; KIM, H.S.; KIM, B.H.; SHIN, K.H.; AN, K.G.; SONG, Y.H.; PARK, Y.S. Temporal changes of phytoplankton community at different depths of a shallow hypertrophic reservoir in relation to environmental variables. *International Journal of Limnology*, v. 45 , p. 93-105, 2009.

LEGENDRE, L. Generic numerical models in Aquatic Ecology. In: KUMAGAI, M.; VINCENT, W.F. (ed). *Freshwater management: global versus local perspectives*. Stuttgart: Springer, 2003. p. 115-122.

LEYNAERT, A.; TRÉGUER, P.; LANCELOT, C.; RODIER, M. Silicon limitation of biogenic silica production in the Equatorial Pacific, *Deep-Sea Res Part I*, v. 48, p. 639-660, 2001.

LUND, H.C.; LUND, J.W.G. *Freshwater algae*. Their microscopic world explored. Hong Kong: Bioexpress Limited, 1995, 360 p.

LUZIA, A.P. *Estrutura organizacional do fitoplâncton nos sistemas lóticos e lênticos da bacia do Tietê-Jacaré (UGRH- Tietê-Jacaré) em relação à qualidade da água e estado trófico*. 2009. 169 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

MARGALEF, R. *Limnologia*. Barcelona: Ediciones Omega, 1983, 1010 p.

MIZUNO, T. *Illustrations of the freshwater plankton of Japan*. Osaka, Japan: Hoikusha, 1964. 351p.

MONTEIRO, C.A.F. *Ritmo hibernar da frente polar e as chuvas na fachada subtropical atlântica do Brasil: contribuição metodológica à análise geográfica dos tipos de tempo no Brasil*. 1967. Tese (Doutorado). São Paulo: FFLCH.

MORENO-OSTOS, E.; CRUZ-PIZARRO, L.; BASANTA-ALVÉS, A.; ESCOT, C.; GEORGE, D.G. Algae in the motion: Spatial distribution of phytoplankton in thermally stratified reservoirs. *Limnetica*. v. 25, n. 1-2, p. 205-216, 2006.

MORENO-OSTOS, E.; CRUZ-PIZARRO, L.; BASANTA-ALVÉS, A.; GEORGE, D.G. The influence of wind-induced mixing on the vertical distribution of buoyant and sinking phytoplankton species. *Aquatic Ecology*, v. 43, n. 2, 271-284, 2009.

MUYLAERT, K.; SANCHEZ-PÉREZ, J.M.; TEISSIER, S.; SAUVAGE, S.; DAUTA, A.; VERVIER, P. Eutrophication and its effect on dissolved Si concentrations in the Garonne

River (France). *J. Limnol.*, v. 68, n. 2, p. 368-374, 2009. Disponível em: <[http://www.jlimnol.it/JL\\_68\\_2/19\\_muylaert.pdf](http://www.jlimnol.it/JL_68_2/19_muylaert.pdf)> Acesso dia 10/01/10.

NAKAMOTO, N.; MARINS, M.; TUNDISI, J.G.; Synchronous growth of *Melosira italica* in a shallow tropical reservoir. *Oecologia*, v. 23, p. 179-184, 1976.

NUSH, E.A. Comparison of different methods for chlorophyll and pheopigment determination. *Arch. Hydrobiol.* v. 14, p. 14-36, 1980.

ODUM, E.P. The strategy of ecosystem development. *Science*. Washington, v. 164, p. 262-270, 1969.

PANNARD, A.; BORMANS, M.; LAGADEUC, Y. Short-term variability in physical forcing in temperate reservoirs: effects on phytoplankton dynamics and sedimentary fluxes. *Freshwater Biology*, v. 52, p. 12-27, 2007. Disponível em: <[http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/comunidades/Artigos\\_2007/pannard\\_ecs2007.pdf](http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/comunidades/Artigos_2007/pannard_ecs2007.pdf)> Acesso dia 10/05/09.

PATEY, M.D.; RIJKENBERG, M.J.A.; STATHAM, P.J.; STINCHCOMBE, M.C.; ACHTERBERG, E.P.; MOWLEM, M. Determination of nitrate and phosphate in seawater at nanomolar concentrations. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 27, n. 2, p. 169-182, February, 2008.

PELÁEZ-RODRÍGUEZ, M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Rotifer Production in a Shallow Artificial Lake (Lobo-Broa Reservoir, Sp, Brazil). *Braz. J. Biol.* v.62, n.3, 2002.

PETTERSSON, K.; GRUST, K.; WEYHENMEYER, G.; BLENCKNER, T. Seasonality of chlorophyll and nutrients in Lake Erken – effects of weather conditions. *Hydrobiologia*. v. 506-509, p. 75-81, 2003.

PRESCOTT, G.W. *Algae of the Western Great Lake area*. Dubuque, W.M.C. Brown Company Publ, 1966. 577 p.

RAMOS-HIGUIERA, E.; ALCOCER, J.; MAYAGOITIA, E.O.; CAMACHO, A. Nitrógeno: element limitante para el crecimiento fitoplanctónico en un lago oligotrófico tropical. *Hidrobiológica*, v. 18, n. 1, p. 105-113, 2008.

REYNOLDS, C.S. *The ecology of freshwater phytoplankton*, Oxford: Cambridge University Press, 1984. 384 p.

REYNOLDS, C.S. Experimental manipulations of phytoplankton periodicity in large limnetic enclosures in Billham Tarn. English Lake District. *Hydrobiologia*, v. 138, p. 43-64, 1986.

REYNOLDS, C.S. *Vegetation Process in the pelagic: a model for ecosystem theory*. Luhe, Alemanha: Inter-Research Science Center, Ecology Institute, 1997. (Excellence in Ecology, 9).

REYNOLDS, C.S. *Ecology of phytoplankton*. Cambridge, MA: Cambridge University Press; 2006.

RIBEIRO, F.M., SILVA, G.A. Life-cycle inventory for hydroelectric generation: a Brazilian case study. *Journal of Cleaner Production*., Brazil, v.18, n. 1, p. 44-54, 2010. Disponível em: < [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=MIimg&\\_imagekey=B6VFX-4X60T86-2-1&\\_cdi=6022&\\_user=10&\\_pii=S0959652609002777&\\_orig=browse&\\_coverDate=01%2F31%2F2010&\\_sk=999819998&view=c&wchp=dGLzVtz-zSkzV&md5=f68120fd5a83cc701af5cf50f2c933b6&ie=/sdarticle.pdf](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6VFX-4X60T86-2-1&_cdi=6022&_user=10&_pii=S0959652609002777&_orig=browse&_coverDate=01%2F31%2F2010&_sk=999819998&view=c&wchp=dGLzVtz-zSkzV&md5=f68120fd5a83cc701af5cf50f2c933b6&ie=/sdarticle.pdf)> Acesso em: 10/01/10.

RICKLEFS, R.E. *The Economy of Nature*, Quinta Edição. Nova York: Freeman, 2001.

RIMMER, A.; AOTA, Y; KUMAGAI, M.; ECKERT, W. Chemical stratification in thermally stratified lakes: A chloride mass balance model, *Limnol. Oceanogr.* v. 50, n. 1, p. 147-157, 2005.

RODRIGUES, M.L.G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 22, n. 2, p. 135-151, 2004.

SEE, J.H.; CAMPBELL, L.; RICHARDSON, T.L.; PINKNEY, J.L.; SHEN, R.; GUINASSO, N.L. Combining new technologies for determination of phytoplankton community structure in the norther Gulf of Mexico. *J. Phycol.*, v. 41, p. 305–310, 2005. Disponível em: <<http://oceanz.tamu.edu/~campbell/campbell/pubs/05jphycol.pdf>> Acesso em 03/07/09.

SERRA, T.; VIDAL, J.; CASAMITJANA, X.; SOLER, M.; COLOMER, J. The role of surface vertical mixing in phytoplankton distribution in a stratified reservoir. *Limnol. Oceanogr.*, v. 52, n. 2, p. 620-634, 2007. Disponível em <<http://copernic.udg.es/gfa/Xavier/articles/Serraetal2007.pdf>> Acesso em 03/07/09.

SMOL, J.P.; BROWN, S.R.; MCINTOSH, H.J. A hypothetical relationship between differential algal sedimentation and diatom succession. *Ver. Inter. Verein. Limnol.* v. 22, p. 1361–1365, 1984.

STREBLE, H.; KRAUTER, D. *Atlas de los microorganismos de água dulce*. La vida en una gota de água. Plató Barcelona: Ediciones Omega, S.A., 1937. 337 p.

STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R. A manual of seawater analysis. *Bull. Fish. res. Board Can.*, v.125, p. 1-18, 1960.

SEBASTIEN, N.Y. *Fenômenos Climatológicos e Hidrológicos e sua Repercussão sobre a Limnologia dos Reservatórios de Barra Bonita – SP, Carlos Botelho (Lobo-Broa) – SP e*

Tucuruí – PA – Brasil. 2004. 183 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2004.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*. v. 52, p. 591-611, 1965.

SMAYDA, T.J. Phytoplankton species succession. In: *The physiological ecology of phytoplankton* (Morris, I., ed.), Oxford: Blackwell Scientific, 1980, p. 493-570.

SOUZA, B.D.A.; FERNANDES, V.O. Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica e sua relação com as variáveis ambientais na lagoa Mãe-Bá, Estado do Espírito Santo, Brasil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 31, n. 3, p. 245-253, 2009. Disponível em <<http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/article/viewFile/1266/1266>>. Acesso dia 05/01/10

STECH, J.; LORENZZETTI, J.A. The response of south Brazil bright to the passage of wintertime cold fronts. *Journal of Geophysical Research*, v. 97, n. C6, p. 9507-9520. 1992.

STHAPIT, E.; OCHS, C.A.; ZIMBA, P.V. Spatial and temporal variation in phytoplankton community structure in a southeastern U.S. reservoir determined by HPLC and light microscopy. *Hydrobiologia*, USA, v. 600, p. 215–228, 2008. Disponível em: <<http://ddr.nal.usda.gov/dspace/bitstream/10113/13428/1/IND44025237.pdf>> Acesso em 30/03/09

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J.G. *Diretrizes para o gerenciamento de lagos: gerenciamento da qualidade dos lagos*. São Carlos: ILEC/IEE, 2000. 280p.

TANAKA, M.; TAKAHASHI, K.; URABE, T.; OIKAWA, T.; NEMOTO, M.; NAGASHIMA, H. First application of the depth profile of silica species as a tracer by fast-atom bombardment mass spectrometry: investigation of the circulation of seawater and silica uptake by diatoms. *Rapid Commun. Mass Spectrom*, v. 23, p. 698–704, 2009.



TUNDISI, J.G. *Produção primária, “Standing-stock”, fracionamento do fitoplâncton e fatores ecológicos em ecossistema lacustre artificial (Represa do Broa – São Carlos)*.1977. 410 f. Tese de Livre Docência –Universidade de São Paulo (USP), São carlos, 1977.

TUNDISI, J. G.; ROCHA, O.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; BRAGA, B. Reservoir Management in South América. *Water Resources Development*, v. 14, n. 2, p. 141-155, 1998.

TUNDISI, J. G. Reservatórios como ecossistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos In: *Ecologia de Reservatório: estrutura, função e aspectos sociais*. (Henry, R. Eds.) São Paulo: FAPESP-FUNDIBIO. p.19-38, 1999.

TUNDISI, J.G.; ARANTES, J.D.; MATSUMURA-TUNDISI, T. The Wedderburn and Richardson numbers applied to shallow reservoirs in Brazil. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, Brazil, v. 28, n. 2, p. 663-666, 2002.

TUNDISI,J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; RODRIGUES, S.L. *Gerenciamento e recuperação das bacias hidrográficas dos Rios Itaqueri e do Lobo e da Represa da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa)*. São Carlos: IIE, 2003. 72p.

TUNDISI,J.G.; MATSUMURA-TUNDISI,T.; ARANTES JUNIOR, J.D.; TUNDISI,J.E.M.; MANZINI,N.F.; DUCROT,R. The response of Carlos Botelho (lobo-Broa) reservoir to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical and biological variables. *Braz. J.Biol.*, v. 64, n. 1, p. 177-186, 2004. Disponível em: < [www.scielo.br/scielo.php?pid=S1519-69842004000100020&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1519-69842004000100020&script=sci_arttext&tlng=en)>. Acesso em: 10/01/08

TUNDISI, JG.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; SIDAGIS-GALLI, C. *Eutrofização na América do Sul: causas, consequências e tecnologias para gerenciamento e controle*. São Carlos: IIE/AIEGA/Eutrosul, 2006a. 532p.

TUNDISI, J.G.; SEBASTIEN, N.Y.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J.E.M.; MANZINI, N.F. The responses of reservoir of southeastern Brazil to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical and biological variables. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, v.29, p.2124-2128, 2006b.

TUNDISI, J.G. Exploração do potencial hidrelétrico da Amazônia. *Estudos avançados*, v. 21, n. 59, p. 109-117, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a08v2159.pdf>> Acesso em: 21/06/09.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ABE, D.S. Climate Monitoring before and during Limnological Studies: a needed integration. *Braz. J. Biol.*, v. 67, n. 4, p. 795-796, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1519-69842007000400034&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1519-69842007000400034&script=sci_arttext&tlng=en)> Acesso em: 12/01/08

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ABE, D.S. The ecological dynamics of Barra Bonita (Tietê River, SP, Brazil) reservoir: implications for its biodiversity. *Braz. J. Biol.* v. 68, n. 4, nov. 2008.

TUNDISI, J.G. Water resources in the future: problems and solutions. *Estudos avançados*, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/en\\_v22n63a02.pdf](http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/en_v22n63a02.pdf)> Acesso em: 21/06/09.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*, Brasil: Oficina de textos, 2008. 631 p.

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton – methodik. *Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, v. 9, p.1-38, 1958.

VALDERRAMA, J.C. The simultaneous analyses of TN and TP in natural waters. *Mar. Chem.*, v.10, p.109-112, 1981.

VAN DEN HOEK, C.; MANN, D.G.; JAHNS, H.M. *Algae*. An introduction to phycology. Cambridge: University press, 1995. 627 p.

VAREJÃO-SILVA, M.A. *Meteorologia e climatologia*. 2ª. ed. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2001. 515p.

VIEIRA, S. *Análise de variância (ANOVA)*. São Paulo: Editora Atlas, 2006. 204 p.

WALLACE, J.M.; HOBBS, P.V. *Atmospheric Science: An Introductory Survey*. London: Academic Press, Inc, 1977. 467 p.

WETZEL, R. *Limnology*. Philadelphia: Saunders Company, 1983.

WETZEL, R.G.; LIKENS, G.E. *Limnological analyses*. 2ed. New York: Springer-Verlag, 1991. 391p.

WHITAKER, V.A.; MATVIENKO, B.; TUNDISI, J.G. Spatial heterogeneity of physical and chemical conditions in a tropical reservoir wetland. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, v.1, p. 169–175, 1995.

WINDER, M.; REUTER, J.E.; SCHLADOW, S.G. Lake warming favours small-sized planktonic diatom species. *Proc Biol Sci*. v. 7, p. 427–435, 2009.

YOSHIYAMA, K; MELLARD, J.P.; LITCHMAN, E.; KLAUSMEIER, C.A. Phytoplankton Competition for Nutrients and Light in a Stratified Water Column. *The american naturalist*. v. 174, n. 2, 2009. Disponível em: <<http://preston.kbs.msu.edu/reprints/files/yoshiyama%20et%20al%202009.pdf>> Acesso dia 05/02/10.

ZAR, J.H., *Biostatistical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 1999.

**Sites:**

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, 2009) -  
<<http://www.cptec.inpe.br>>

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo –  
(IAG/USP, 2009) - <<http://www.master.iag.usp.br>>

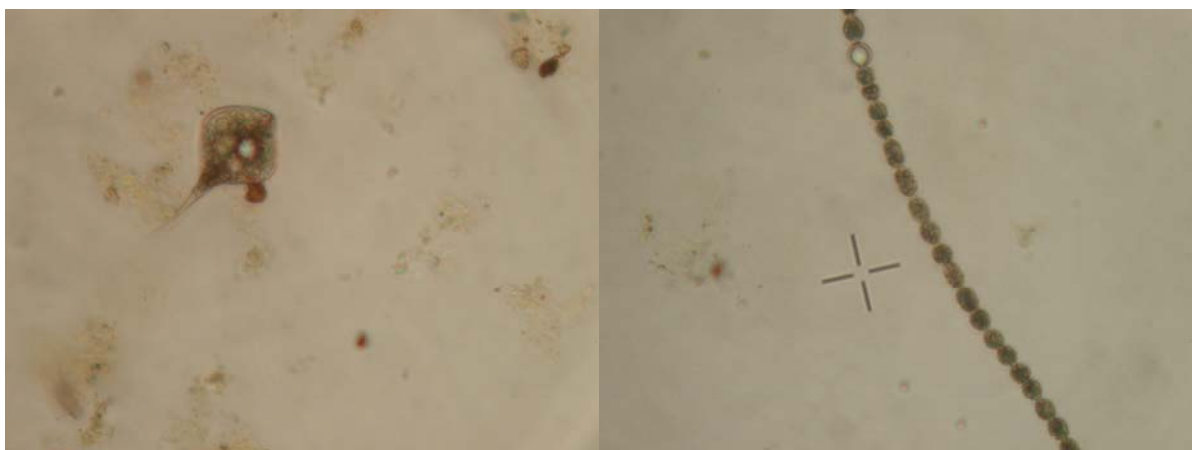
Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009) - <<http://www.inmet.gov.br>>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2009) - <<http://www.inpe.br>>

## 8. ANEXO

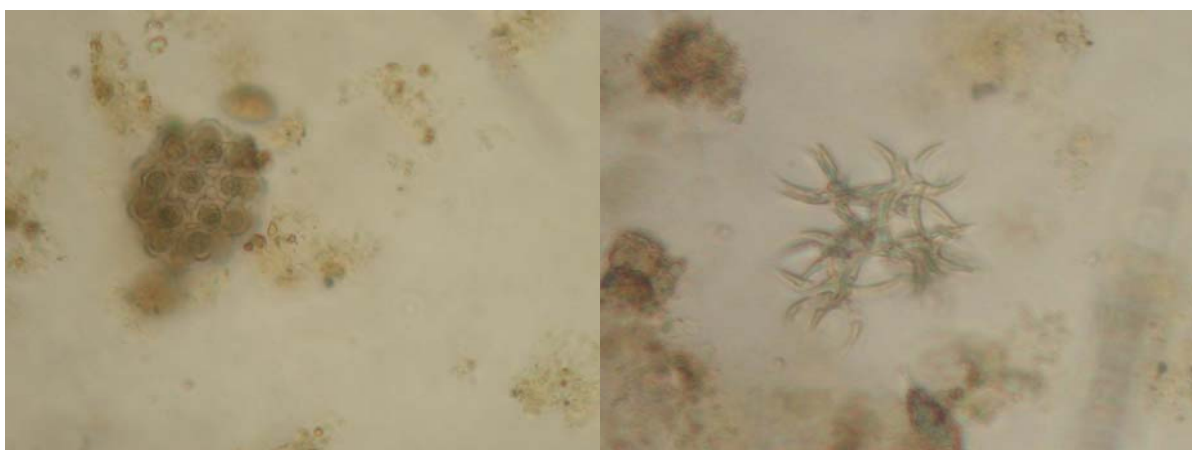
---

### 8.1. Fotos do fitoplâncton da represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) visualizadas no aumento de 400 vezes.



*Phacus*

*Anabaena*



*Coelastrum*

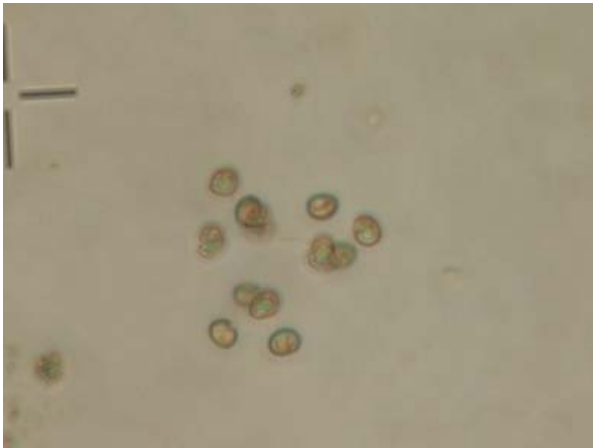
*Selenastrum*



*Trachelomonas*



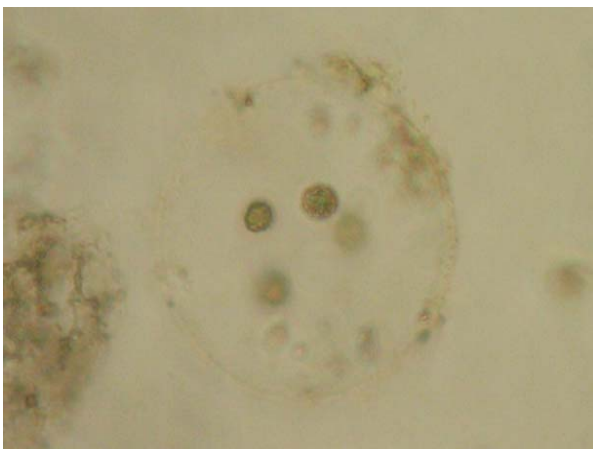
*Euglena*



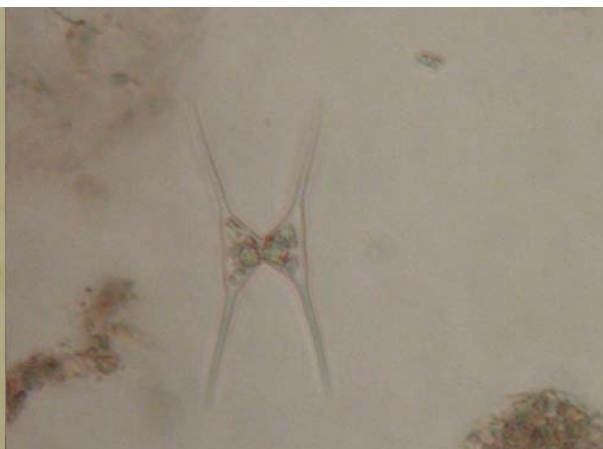
*Dictyosphaerium*



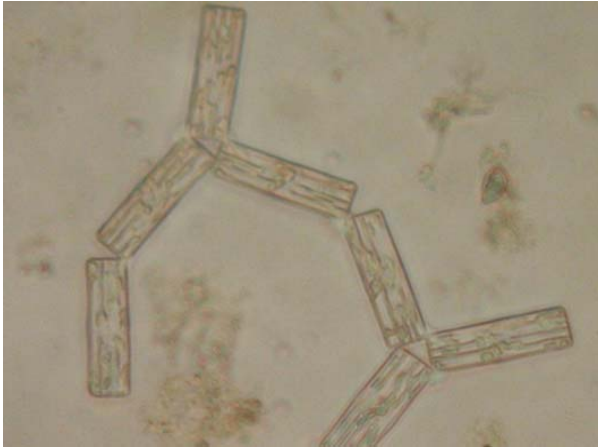
*Tetrallantos*



*Gloeocystis*



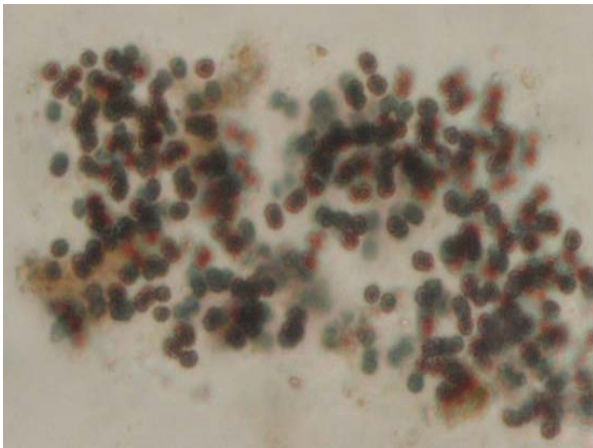
*Staurodesmus*



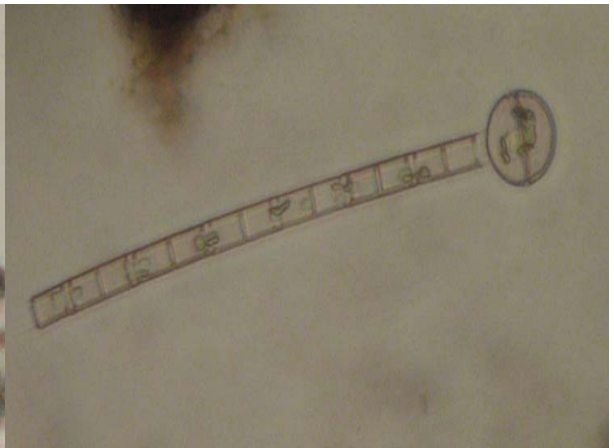
*Tabellaria*



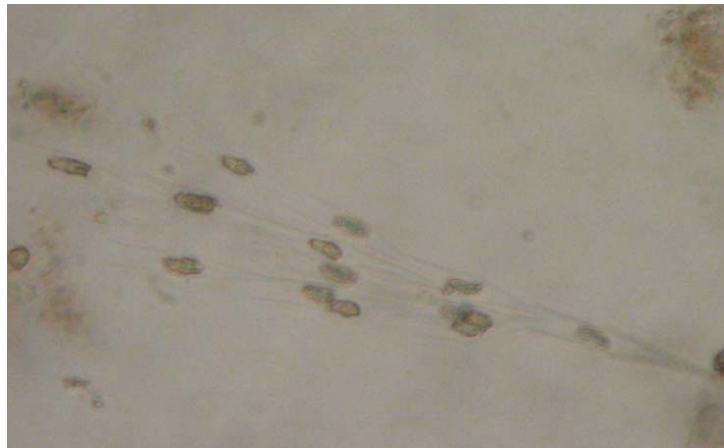
*Surirella*



*Microcystis*



*Aulacoseira*



*Dynobrion*