

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA**

**CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS EM ÁREAS SOB
INFLUÊNCIA DE PISCICULTURA EM TANQUES-REDE NO
RESERVATÓRIO DA UHE CHAVANTES, RIO PARANAPANEMA,
SE/S, BRASIL**

Daercy Maria Monteiro de Rezende Ayroza

**Tese de Doutorado apresentada
ao Programa de Pós-graduação
em Aquicultura, do Centro de
Aquicultura da Unesp -
CAUNESP, como parte dos
requisitos para obtenção do título
de Doutora.**

**Jaboticabal –SP
2012**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA

**CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS EM ÁREAS SOB INFLUÊNCIA DE
PISCICULTURA EM TANQUES-REDE NO RESERVATÓRIO DA UHE
CHAVANTES, RIO PARANAPANEMA, SE/S, BRASIL**

Daercy Maria Monteiro de Rezende Ayroza

Orientador: Prof. Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo

Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Gomes Nogueira

Tese de Doutorado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Aquicultura, do Centro de Aquicultura da
Unesp - CAUNESP, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Doutora.

Jaboticabal -SP

2012

A796c Ayroza, Daercy Maria Monteiro de Rezende
Características limnológicas em áreas sob influência de piscicultura em tanques-rede no reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, Brasil / Daercy Maria Monteiro de Rezende Ayroza. – – Jaboticabal, 2012
ix, 130 f. il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2012
Orientador: Antonio Fernando Monteiro Camargo
Banca examinadora: Alexandre Ninhaus Silveira, Ana Eliza Baccarin Leonardo, Evoy Zaniboni Filho, Odete Rocha.
Bibliografia

1. Caracterização limnológica. 2. Levantamento batimétrico. 3. Piscicultura. 4. Reservatórios. 5. Tanques-rede. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 556.55

SUMÁRIO

Página

LISTA DE FIGURAS.....	...iii
LISTA DE TABELAS	...ix
RESUMO	...4
ABSTRACT	...5
1. INTRODUÇÃO	...6
2. OBJETIVO	...8
2.1. Objetivo geral	...8
2.2. Objetivos específicos.....	...9
3. REFERENCIAL TEÓRICO	...9
3.1. Compartimentalização de reservatórios	10
3.2. Morfologia/Morfometria de bacias	12
3.3. Sazonalidade temporal	13
3.4. Impactos potenciais da piscicultura em tanques-rede nos reservatórios	15
4. ÁREA DE ESTUDO.....	22
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
5.1. Seleção das áreas.....	28
5.2. Estimativa de ração e biomassa nas pisciculturas	30
5.3. Coleta e amostragem de água	33
5.4. Levantamento batimétrico	38
5.5. Análise dos dados.....	38
6. RESULTADOS	40
6.1. Levantamento batimétrico	40
6.2. Variáveis Limnológicas.....	45
6.2.1. Compartimento lacustre (piscicultura 1 e controle 1)	47
Temperatura da água.....	47
Oxigênio dissolvido (OD)	50
Potencial hidrogeniônico (pH).....	53
Condutividade elétrica	56
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	59
Transparência da água.....	60
Turbidez	61
Sólidos totais dissolvidos (STD)	62
Clorofila <i>a</i>	63
Coliformes termotolerantes	64
Fósforo total (PT)	65
Nitrogênio orgânico total (NOT)	66
6.2.2. Compartimento de transição (piscicultura 2 e controle 2).....	67
Temperatura da água.....	67
Oxigênio dissolvido (OD)	70
Potencial hidrogeniônico (pH).....	74
Condutividade elétrica	77

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	80
Transparência da água.....	81
Turbidez	82
Sólidos totais dissolvidos (STD)	83
Clorofila <i>a</i>	84
Coliformes termotolerantes	85
Fósforo total (PT)	86
Nitrogênio orgânico total (NOT)	87
6.3. Índice de Estado Trófico (IET)	88
6.4. Comparação dos resultados com os valores desejáveis para a criação de espécies tropicais e os limites da legislação	89
6.5. Análise dos componentes principais (ACP)	91
6.6. Análise de variância	103
 7. DISCUSSÃO	 104
7.1. Variabilidade temporal.....	105
7.2. Variabilidade espacial entre compartimentos	109
7.3. Variabilidade entre áreas com e sem piscicultura.....	111
 CONCLUSÕES	 117
 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 117
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 118

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Principais processos de contaminação e poluição das águas e suas consequências.	15
Figura 2. Localização da bacia hidrográfica do rio Paranapanema, SE/S, Brasil, e do complexo de reservatórios em cascata	23
Figura 3. Variação mensal da cota altimétrica e da vazão defluente total do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, no período de dez/06 a nov/07.	24
Figura 4. Variação da precipitação mensal acumulada (mm) registrada na região do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, no período de dez/06 a nov/07	25
Figura 5. Variação da temperatura média do ar (°C) na região do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, no período de dez/06 a nov/07	26
Figura 6. Localização das regiões de estudo no reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S.	29
Figura 7. Localização das áreas avaliadas na região lacustre do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S..	29
Figura 8. Localização das áreas avaliadas na região de transição do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S.....	30
Figura 9. Quantidade mensal de ração fornecida na piscicultura 2, no período de dez/06 a nov/07.....	30
Figura 10. Baía com piscicultura em tanques-rede (piscicultura 1) na região lacustre do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, com pontos amostrais e superposição de batimetria.....	34
Figura 11. Baía sem piscicultura (controle 1) na região lacustre do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, com pontos amostrais e superposição de batimetria.	35
Figura 12. Baía com piscicultura em tanques-rede (piscicultura 2) na região de transição do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, com pontos amostrais e superposição de batimetria.....	35
Figura 13. Baía sem piscicultura (controle 2) na região de transição do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, com pontos amostrais e superposição de batimetria.	36

Figura 14. Mapa batimétrico de área com piscicultura em tanques-rede na região lacustre do reservatório da UHE Chavantes (piscicultura 1), com indicação dos pontos amostrais de água (P1 a P9).	41
Figura 15. Mapa batimétrico de área sem piscicultura na região lacustre do reservatório da UHE Chavantes (controle 1), com indicação dos pontos amostrais de água (P1 a P9).....	42
Figura 16. Mapa batimétrico de área com piscicultura em tanques-rede na região de transição do reservatório da UHE Chavantes (piscicultura 2), com indicação dos pontos amostrais de água (P1 a P9).....	43
Figura 17. Mapa batimétrico de área sem piscicultura na região de transição do reservatório da UHE Chavantes (controle 2), com indicação dos pontos amostrais de água (P1 a P9).....	44
Figura 18. Valores médios da profundidade (m) dos pontos amostrais das áreas avaliadas no compartimento lacustre (piscicultura 1 e controle 1) e no de transição (piscicultura 2 e controle 2), no reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S	45
Figura 19. Variação de temperatura da água (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	48
Figura 20. Variação dos perfis verticais da temperatura da água na piscicultura 1 e no controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	49
Figura 21. Variação da concentração de oxigênio dissolvido – OD (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	51
Figura 22. Variação dos perfis verticais do oxigênio dissolvido (OD) na piscicultura 1 e no controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	52
Figura 23. Variação do pH (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07... ..	54
Figura 24. Variação dos perfis verticais de pH na piscicultura 1 e no controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	55

Figura 25. Variação da condutividade elétrica (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	57
Figura 26. Variação dos perfis verticais de condutividade elétrica na piscicultura 1 e no controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	58
Figura 27. Variação da demanda bioquímica de oxigênio – DBO (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.	60
Figura 28. Variação mensal dos valores de transparência da água na piscicultura 1 e no controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	61
Figura 29. Variação da turbidez (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	62
Figura 30. Variação da concentração de sólidos totais dissolvidos – STD (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	63
Figura 31. Variação da concentração de clorofila a (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	64
Figura 32. Variação da quantidade de coliformes termotolerantes (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	65
Figura 33. Variação da concentração de fósforo total - PT (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de mar/07 a nov/07.....	66
Figura 34. Variação da concentração de nitrogênio orgânico total – NOT (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	67

Página

Figura 35. Variação da temperatura da água (média e desvio-padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	68
Figura 36. Variação dos perfis verticais da temperatura da água na piscicultura 2 e no controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	69
Figura 37. Variação de oxigênio dissolvido OD (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.	71
Figura 38. Variação dos perfis verticais do oxigênio dissolvido (OD) na piscicultura 2 e no controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	72
Figura 39. Variação de pH (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.	74
Figura 40. Variação dos perfis verticais de pH na piscicultura 2 e no controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.	75
Figura 41. Variação da condutividade elétrica (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	78
Figura 42. Perfis verticais da condutividade elétrica na piscicultura 2 e no controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	79
Figura 43. Variação da demanda bioquímica de oxigênio – DBO (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	81
Figura 44. Variação dos valores médios da transparência da água na piscicultura 2 e no controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	82
Figura 45. Variação da turbidez (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	83

Página

Figura 46. Variação da concentração de sólidos totais dissolvidos – STD (média e desvio- padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	84
Figura 47. Variação da concentração de clorofila <i>a</i> (média e desvio-padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.	85
Figura 48. Variação da quantidade de coliformes termotolerantes (média e desvio padrão em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	86
Figura 49. Variação da concentração de fósforo total – PT (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de mar/07 a nov/07.....	87
Figura 50. Variação da concentração de nitrogênio orgânico total - NOT (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	88
Figura 51. Ordenação nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) da ACP aplicada aos valores médios mensais de variáveis limnológicas (n=9) determinadas na superfície do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho).	91
Figura 52. Ordenação nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) da ACP aplicada aos valores médios mensais (n=9) de variáveis limnológicas determinadas no meio da coluna eufótica do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho).	92
Figura 53. Ordenação nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) da ACP aplicada aos valores médios mensais (n=9) de variáveis limnológicas determinadas no fundo da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho).	93

Figura 54. Ordenação nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) da ACP aplicada aos valores médios anuais (n=12) de variáveis limnológicas determinadas na superfície de pontos amostrais (1 a 9) do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/2007. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho). 95

Figura 55. Ordenação nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) da ACP aplicada aos valores médios anuais (n=12) de variáveis limnológicas determinadas no meio da coluna eufótica de pontos amostrais (1 a 9) do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/2007. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho). 96

Figura 56. Ordenação nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) da ACP aplicada aos valores médios anuais (n=12) de variáveis limnológicas determinadas no fundo de pontos amostrais (1 a 9) no reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/2007. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho). 97

Figura 57. Ordenação nos componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2) da ACP aplicada aos valores de variáveis limnológicas (n=9) determinadas na superfície do reservatório da UHE Chavantes, no mês de mar/2007. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho). 99

Figura 58. Ordenação nos componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2) da ACP aplicada aos valores de variáveis limnológicas (n=9) determinadas no meio da camada eufótica do reservatório da UHE Chavantes, no mês de mar/2007. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho). 100

Figura 59. Ordenação nos componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2) da ACP aplicada aos valores de variáveis limnológicas (n=9) determinadas no fundo da UHE Chavantes, no mês de mar/2007. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho). 101

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Manejo alimentar e dados zootécnicos da criação de peixes em tanques-rede (ciclo de verão e de inverno) na piscicultura 1 (tanques-rede de 6 m ³) e na piscicultura 2 (tanques-rede de 18 m ³).	32
Tabela 2. Valores médios e desvios-padrão de variáveis limnológicas (n=108) 1 1 ua, de áreas com piscicultura e sem piscicultura (controles) no reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.....	46
Tabela 3. Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977), em função dos valores médios das variáveis transparência, clorofila <i>a</i> e fósforo total, nas pisciculturas 1 e 2 e respectivos controles, no reservatório de Chavantes, rio Paranapanema, SE/S..	89
Tabela 4. Valores médios das variáveis limnológicas avaliadas no reservatório da UHE Chavantes, no período dez/06 a nov/07; valores desejados para a criação de peixes tropicais; e padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005.	90
Tabela 5. Poder discriminatório das variáveis nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) das ACPs representadas nas Figuras 51, 52 e 53.....	94
Tabela 6. Poder discriminatório das variáveis nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) nas ACPs representadas nas Figuras 54, 55 e 56.	98
Tabela 7. Poder discriminatório das variáveis nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) nas ACPs representadas nas Figuras 57, 58 e 59.....	102

Dedico este trabalho à vida, que nos leva por caminhos surpreendentes.

Aos meus pais, Jupiacyr Monteiro de Rezende (*in memoriam*) e Daercy Cassiani Monteiro de Rezende, que sempre me incentivaram e me fizeram acreditar na minha capacidade de trilhar novos caminhos.

Ao meu marido Luiz, por sua compreensão, colaboração e infinita cumplicidade.

Aos meus filhos, Mariana, Henrique e Camila, por ser fonte de amor e orgulho para o meu viver.

Aos meus irmãos e meus amigos, que me acompanham e me fortalecem.

AGRADECIMENTOS

Ao curso de Pós-Graduação em Aquicultura do CAUNESP, que proporcionou a oportunidade de ampliação dos meus conhecimentos e aprimoramento profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo, pelo tempo e pelos ensinamentos a mim dedicados.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Marcos Gomes Nogueira, da mesma forma, e por sua colaboração efetiva nas atividades desenvolvidas no reservatório de Chavantes.

Aos secretários do CAUNESP, especialmente à Vera e ao David, pela colaboração, paciência e bom humor, durante todo este tempo que estivemos juntos.

Ao colega de trabalho e amigo Prof. Dr. Edmir Daniel Carvalho, que foi meu parceiro nesta empreitada, desde a concepção desta pesquisa.

Aos amigos Marcello Booch, Sara, Haluko, Milene e Carol, que me acolheram em suas moradias, tornando o meu ficar fora de casa mais agradável.

Ao Prof. Dr. Antonio Sergio Ferraudo, que colaborou nas análises estatísticas, e ao Prof. Dr. Pitágoras Conceição Bispo, que me ensinou a gostar de estatística.

Aos colegas da APTA Médio Paranapanema, em especial aos pesquisadores, Dr. Ricardo Augusto Dias Kanthack e Dr. Aildson Duarte Pereira, pelo apoio e pelo incentivo para a realização deste doutoramento.

Aos proprietários das pisciculturas que disponibilizaram suas áreas para a realização do presente estudo.

À FINEP, pelo financiamento da pesquisa que foi objeto deste doutorado e à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos para a finalização deste curso.

Na verdade, muitas foram as pessoas que de alguma forma contribuíram, com seu conhecimento profissional ou com sua compreensão e carinho, para que eu superasse os momentos mais difíceis e conseguisse alcançar mais esta etapa.

A TODOS FICO REALMENTE GRATA.

RESUMO

A produção aquícola nacional teve crescimento de 31,2% no período entre 2008 e 2010. Recentemente um grande destaque tem sido dado à criação de peixes no sistema em tanques-rede em reservatório de grande e médio porte. No entanto, os efeitos destes empreendimentos sobre a biota e a qualidade da água requerem mais estudos, visando a uma melhor compreensão dos seus possíveis impactos como subsídio para a busca de tecnologias menos prejudiciais ao ambiente aquático. O objetivo desse trabalho foi verificar a influência da piscicultura em tanques-rede nas características limnológicas na região de barragem (compartimento lacustre) e de montante (compartimento de transição) do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S. Nesse sentido, foram avaliadas duas baías com criação de tilápias (*Oreochromis niloticus*). A primeira, chamada piscicultura 1, a qual localiza-se na região lacustre, com 250 tanques-rede (6,0 m³) e a segunda, a piscicultura 2, na região de transição, com 500 tanques-rede (4,0 m³ a 36,0 m³). Outras duas áreas sem piscicultura foram também estudadas para comparação dos resultados. No período de dezembro/2006 a novembro/2007, realizaram-se levantamentos batimétricos das áreas e medidas em campo, de profundidade, transparência, temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD) e condutividade. Coletaram-se também amostras de água na superfície, meio da camada eufótica e fundo, em nove pontos amostrais, para determinações em laboratório de nitrogênio orgânico total (NOT), fósforo total (PT), sólidos totais dissolvidos (STD), turbidez, clorofila *a*, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e coliformes termotolerantes. Nas áreas com piscicultura se verificou redução de OD, pH e transparência e aumento de STD, turbidez e DBO. Essas observações foram diferenciadas nas duas pisciculturas, em função da morfometria e estrutura térmica da área e, provavelmente, do porte e manejo do empreendimento. As alterações observadas foram de pequena magnitude, necessitando de avaliações em longo prazo, as quais devem considerar os diferentes compartimentos e outros aspectos que influenciam o aumento das condições de trofia do reservatório, particularmente, fatores hidrodinâmicos.

Palavras-chave: caracterização limnológica, levantamento batimétrico, piscicultura, reservatórios, tanques-rede.

ABSTRACT

The national aquaculture production grew by 31.2% in the period between 2008 and 2010. Currently, a great highlight has been given to the fish rearing in cage system in medium and large reservoirs. However, effects of these developments on the biota and water quality require further studies, aiming to better understand their potential impacts as a subsidy for the search of technology less harmful to the aquatic environment. The aim of this study was to investigate the influence of fish farming in cages as to limnological characteristics in the dam region (bay lake) and in the amount (transition compartment) of the reservoir of UHE Chavantes, Paranapanema River, SE/S. In this sense, two bays with tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) were evaluated. The first, called fish farm 1, is located in the lake region, with 250 cages (6.0 m³) and second, called fish farm 2, sits in the transition region, with 500 cages (4.0 to 36 m³, 0 m³). Two other areas with no fish farming were also studied to compare the results. In the period December/2006 November/2007, there were bathymetric surveys of the areas, and field measurements of depth, transparency, temperature, pH, dissolved oxygen (DO) and conductivity. Water samples were also collected on the surface, through the euphotic layer and bottom in nine sampling points for determination in laboratory of total organic nitrogen (TON), total phosphorus (TP), total dissolved solids (TDS), turbidity, chlorophyll a, biochemical oxygen demand (BOD), and thermo tolerant coliforms. In areas with fish, reduction of DO, pH and transparency occurred, and STD, turbidity and BOD increased. These observations were differentiated in the two fish farms depending on the morphometry and thermal structure of the area, and probably the size and management of the enterprise. The observed changes were of small magnitude requiring long-term assessments, considering the different compartments and other aspects that influence increase in trophic conditions of the reservoir, particularly hydrodynamic studies.

key words: limnological characterization, bathymetric surveys, fish farms, dam, cages.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as atividades relacionadas à geração de energia e ao abastecimento público resultaram, indiretamente, na regularização das principais bacias hidrográficas brasileiras, com a formação de diversos reservatórios, isolados ou em arranjos diversos, como os sistemas em cascata. Os represamentos permitiram o desenvolvimento de atividades humanas e dos múltiplos usos da água, porém, resultando em alterações quanto aos aspectos qualitativos e quantitativos do recurso hídrico (TUNDISI et al., 2002; TUNDISI, 2005).

A aquicultura é uma atividade que vem se firmando no agronegócio brasileiro. No período entre 2008 e 2010 houve um incremento de 31,2% na produção aquícola nacional, que passou de 365.366 t para 479.399 t. A maior parcela dessa produção foi oriunda da aquicultura continental, com destaque para a piscicultura, que representou 82,3% da produção total nacional (394.340 t). Em 2010, a Região Sul permaneceu idem aos anos anteriores, como a maior produtora de pescado, com 133.425,1 t, respondendo por 33,8% da produção nacional. Seguiram-se a esta, em ordem decrescente, as regiões nordeste, sudeste, centro-oeste e norte, onde foram estimadas produções de 78.578,5 t, 70.915,2 t, 69.840,1 t e 41.481,1 t, respectivamente (BRASIL, 2011).

Recentemente um grande destaque tem sido dado à criação de peixes no sistema de tanques-rede nos reservatórios de médio e grande porte, a qual é apontada como alternativa para o crescimento da produção de pescado. Essa modalidade de criação requer baixo capital investido, oferece grande flexibilidade de manejo e tem baixo custo de produção quando comparada com raceways (tanques com alto fluxo de água) e viveiros (HALWART et al., 2007). De fato, a implementação de tanques-rede pode incrementar a produção piscícola, promovendo a geração de proteína animal, emprego e renda, além de diminuir a pressão sobre os estoques pesqueiros naturais. Devido a isso, o Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), tem incentivado a atividade, principalmente por intermédio de ações, tais como a disponibilização de linhas de crédito diferenciadas para o setor e o investimento em estudos para a instalação de Parques Aquícolas nos reservatórios de usinas hidrelétricas (UHE). Os Parques

Aquícolas são espaços físicos delimitados no meio aquático, compreendendo um conjunto de áreas aquícolas afins, em cujos espaços intermediários poderiam ser desenvolvidas outras atividades compatíveis com a prática da aquicultura (BRASIL, 2009).

No rio Paranapanema existem mais de 150 mil hectares de áreas alagadas, se forem somadas as áreas dos reservatórios de usinas hidroelétricas na cota máxima operacional, os quais fazem parte do complexo construído a partir da década de 70. Esses reservatórios, no qual se encontra o de Chavantes, apresentam características propícias para a instalação de pisciculturas em tanques-rede, tais como boa qualidade da água, padrão dendrítico de desenvolvimento das margens e entorno pouco povoado, comparativamente a outras regiões. De acordo com os dados disponibilizados no Sistema de Informações de Autorizações de Uso das Águas de Domínio da União para fins de Aquicultura (SINAU) do MPA, em 2009, nessa região estavam instalados por volta de 1.700 tanques-rede e foram solicitadas mais 22 autorizações para implantação de empreendimentos aquícolas, perfazendo o total de 42,62 hectares de espelho d'água, com produção anual estimada em 12.093,73 toneladas de pescado (BRASIL, 2009).

A piscicultura comercial em tanques-rede é uma atividade relativamente recente no país, implementada no estado de São Paulo no final da década de 90, com a produção direcionada para atender as plantas processadoras de pescado (AYROZA et al., 2006). São necessários mais estudos para verificar os efeitos desses empreendimentos sobre a biota e a qualidade da água, visando a uma melhor compreensão dos seus possíveis impactos (CARVALHO, 2006; PILLAY, 2004), como subsídio para a busca de tecnologias menos prejudiciais ao ambiente aquático. No entanto, em reservatórios de médio e grande porte não é fácil essa avaliação, devido ao caráter difuso de lançamento de resíduos dos tanques-rede, à complexidade desse ecossistema e à diversidade de fatores que atuam sobre os mesmos.

Os reservatórios são ecossistemas artificiais complexos, que apresentam um padrão dinâmico e gradientes horizontais e verticais (TUNDISI, 1999). Esses corpos d'água sofrem influência das alterações climáticas e da operação das usinas hidroelétricas, que produzem variabilidade temporal. Também sofrem

interferência da bacia hidrográfica, por meio da introdução de material dissolvido e particulado proveniente de tributários e do carreamento de sedimentos das margens, o que contribui para a sua variabilidade espacial.

Estudos visando à identificação das interferências da piscicultura em tanques-rede são fundamentais para a avaliação do grau de impacto e das respostas ambientais à entrada de resíduos da atividade. Tais informações, aliadas aos dados de hidrodinâmica do reservatório e de manejo da criação, permitem a recomendação de estratégias de monitoramento e de diminuição dos impactos ambientais, com vistas à manutenção dos atributos do corpo hídrico dentro de padrões desejáveis (sociais e legais) para os múltiplos usos requeridos.

Na presente pesquisa, compararam-se áreas com e sem piscicultura em dois compartimentos do reservatório de Chavantes (lacustre e de transição), por meio do levantamento batimétrico e da determinação de variáveis limnológicas, buscando-se identificar as interferências da criação de peixes no ambiente aquático. A hipótese deste trabalho é que os corpos hídricos estão sujeitos a alterações nas suas características limnológicas em consequência do aporte de insumos e metabólitos provenientes da piscicultura em tanques-rede, como o aumento do estado trófico, de forma diferenciada em função da localização do empreendimento aquícola.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

Verificar as interferências de duas áreas com piscicultura em tanques-rede nas características limnológicas de diferentes compartimentos longitudinais (lacustre e de transição rio-reservatório) do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, limite entre região sudeste e sul.

2.2. Objetivos específicos

- 1- Avaliar as características limnológicas de áreas com e sem piscicultura, por meio da determinação mensal de variáveis físicas, químicas e biológicas da água (transparência, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, clorofila *a*, nitrogênio orgânico e fósforo total), em diferentes profundidades (superfície, meio da camada eufótica e fundo), no compartimento lacustre e no de transição rio-reservatório;
- 2- Identificar a estrutura térmica e química de áreas com e sem piscicultura, por meio da determinação de perfis verticais de temperatura, pH, concentração de oxigênio dissolvido e condutividade da água no ponto central das áreas avaliadas;
- 3- Caracterizar a morfologia do fundo e parâmetros morfométricos das áreas de estudo, por meio da execução de levantamentos para a elaboração de mapas batimétricos e verificar a influência da morfologia/morfometria para a variabilidade das características limnológicas entre as áreas avaliadas;
- 4- Verificar a variabilidade sazonal e espacial das variáveis limnológicas entre os compartimentos e entre áreas com e sem piscicultura, avaliando, assim, se a piscicultura afeta diferentemente as características limnológicas dos distintos compartimentos;
- 5- Produzir informações sobre o sistema de criação em tanques rede visando contribuir para o planejamento e gestão do uso do recurso hídrico para fins de piscicultura.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

As características limnológicas de reservatórios são influenciadas por uma série de fatores relacionados ao meio físico e à ocupação da bacia hidrográfica, sazonalidade climática, morfometria, tempo de residência e usos múltiplos da água (entre os quais a operação da usina hidrelétrica). Assim sendo, esses corpos d'água apresentam padrões hidrodinâmicos complexos. Em função disso,

estudos sobre as interferências da piscicultura em tanques-rede nas características limnológicas do reservatório devem contemplar as especificidades da bacia hidrográfica onde o corpo d'água está inserido, bem como buscar a compreensão da estrutura, função e dinâmica do reservatório, que envolve sua variabilidade no tempo e no espaço.

Os reservatórios podem ser considerados sistemas intermediários entre rios e lagos com relação às características morfológicas e hidrológicas, à importância relativa de nutrientes provenientes de fontes externas e da ciclagem interna e ao grau de importância das fontes autóctones e alóctones de matéria orgânica para a cadeia alimentar (KIMMEL et al., 1990). Os movimentos verticais e horizontais das massas de água, o fluxo contínuo de água em direção à barragem e a variação do tempo de residência, os quais apresentam mecanismos específicos dependentes da bacia de drenagem e de seus usos, determinam grande parte das características estruturais e funcionais desses corpos d'água (THORTON, 1990).

3.1. Compartimentalização de reservatórios

A construção de reservatórios no curso dos rios usualmente causa transformações ecológicas, que incluem mudanças na morfometria do canal principal e decréscimos nos fluxos e velocidade da água através da represa (JORCIN; NOGUEIRA, 2005). A variação do fluxo decorrente da influência lótica pode ser responsável por padrões longitudinais, formando três regiões distintas, que podem ser definidas em função das suas características físicas, químicas e biológicas. A zona de cabeceira do reservatório (lótica) é relativamente estreita e o fluxo mais intenso propicia maior mistura da água e significantes quantidades de material particulado, o que aumenta a turbidez e reduz a penetração de luz. Na segunda região (zona de transição) a velocidade de fluxo é reduzida e ocorre o aumento do tempo de residência da água, da sedimentação de partículas de silte e argila e da penetração de luz. Esta condição pode resultar no aumento da produtividade e da biomassa. Finalmente, a região lacustre (zona lêntica) próxima à barragem, se assemelha aos lagos e, usualmente apresenta longo tempo de

residência, baixas concentrações de nutrientes e partículas em suspensão, alta transparência e zona eufótica profunda. Nesta região a produtividade primária é suportada principalmente pela ciclagem de nutrientes *in situ*. No entanto, esta compartimentalização não é bem definida, uma vez que é resultante da combinação de uma série de fatores (entrada e saída da água, luz, nutrientes, produção fitoplanctônica e suprimento de matéria orgânica) (KIMMEL et al, 1990).

Assim, a redução do fluxo em direção à barragem implica no aumento da transparência em função da sedimentação de material particulado, enquanto que a tendência de redução de nutrientes é resultante dos processos de sedimentação e absorção pelo fitoplâncton (PAGIORO et al., 2005; PAGIORO et al., 2005b). De fato, este fenômeno foi também observado por diversos autores (PAGIORO et al., 2005; PINTO-COELHO et al., 2006; SOARES et al., 2008). A compartimentalização de grandes reservatórios tropicais, no entanto, pode ser mais complexa, multidimensional, influenciada por entradas de tributários secundários e pelo tempo de residência de cada braço do reservatório (NOGUEIRA, 2000; 2001; PINTO-COELHO et al., 2006; SOARES et al., 2008). A extensão de cada compartimento também pode variar ao longo do ano, em função da contribuição de material proveniente da bacia de drenagem (sedimentos e nutrientes) e do tempo de residência do reservatório, criando condições de heterogeneidade espacial (horizontal e vertical). Além disso, a própria formação dos reservatórios pode dar origem às diversas enseadas, as quais podem diferir física, química e biologicamente do corpo central (ROCHA et al., 1999).

A variação da tipologia do reservatório ao longo do seu eixo longitudinal deve ser conhecida para compreensão das condições limnológicas, com vistas à adoção de medidas de manejo (TUNDISI, 1999). Os gradientes longitudinais nas condições físicas e químicas de reservatórios implicam em gradientes fitoplanctônicos (KIMMEL et al., 1990).

3.2. Morfologia/Morfometria de bacias

As características físicas de uma bacia constituem elementos importantes para avaliação do seu comportamento hidrológico. O estudo de parâmetros morfométricos auxilia no entendimento da estrutura e funcionamento dos corpos d'água, permitindo a associação desses atributos com a qualidade da água, particularmente ao seu grau de trofia (SPERLING, E.; DANTAS, 2000). A produtividade primária do fitoplâncton, por exemplo, é controlada pela ação combinada da luz e nutrientes, mas o tempo de residência, morfometria, tamanho do reservatório etc. são fatores que atuam sobre o metabolismo dessa comunidade.

A morfometria dos corpos d'água tem relação direta com o balanço de nutrientes, a produtividade, a estabilidade térmica da coluna d'água, os processos de circulação e dispersão de organismos (PANOSSO et al., 1998). A distribuição da biota e dos compostos químicos é afetada por fatores condicionados pela morfometria, tais como, a penetração da luz, a formação de correntes e a atenuação do vento (SPERLING, 1999).

Corpos d'água mais rasos tendem a apresentar um nível trófico mais elevado, principalmente devido à maior penetração de luz ao longo de toda a coluna d'água (VON SPERLING, 2005). Além disso, profundidades menores resultam em volumes proporcionalmente maiores do epilímnio, de modo que maiores cargas de nutrientes, tendem a levar a maiores produtividades. Também, em águas rasas é maior a possibilidade de trocas de nutrientes entre o sedimento e a coluna d'água. Por outro lado, o processo de eutrofização em grande parte depende do tempo de retenção das massas de água. Assim, tempos de retenção da água menores resultam em períodos mais curtos de absorção, circulação, sedimentação e reutilização de nutrientes, portanto, em maior resistência à eutrofização (PORTUGAL, 2000).

A taxa e o tempo de progressão da eutrofização em ecossistemas continentais, considerando uma carga constante de nutrientes, dependem principalmente do estado trófico inicial, da profundidade média e do tempo de residência da represa (TUNDISI et al., 2008). O tempo de residência da água é

determinado por fatores morfométricos e sazonais, influenciando diretamente a capacidade de diluição dos resíduos. A hidrodinâmica e a profundidade determinam o volume e a vazão da água, que recebe a emissão diária de nutrientes e a área de deposição dos resíduos, ao mesmo tempo, a hidrodinâmica e os organismos pelágicos são os principais fatores determinantes da capacidade de absorção pela coluna d'água (OLSEN Y.; OLSEN L., 2008).

3.3. Sazonalidade temporal

A sazonalidade climática promove alterações nos fatores limnológicos do reservatório, principalmente em função da temperatura, radiação solar, precipitação e ventos. A temperatura do ar influencia diretamente a da água, atuando na estrutura vertical dos sistemas aquáticos, a qual interfere na dinâmica de processos químicos e biológicos (SOARES et al., 2008) e no metabolismo do ecossistema aquático. As chuvas podem interferir na estratificação térmica, na entrada, saída e diluição de resíduos. O período chuvoso pode promover o transporte de material inorgânico suspenso para fora do sistema, a introdução de partículas com fosfato adsorvido e o aumento de partículas orgânicas e inorgânicas devido à contribuição da bacia, ocasionando a atenuação e mudança na composição da luz (TUNDISI, 1993; TUNDISI, 1999). Os ventos atuam na mistura da coluna d'água, na concentração e distribuição do oxigênio no interior do ecossistema aquático (ESTEVES, 1998). O vento propicia a formação de correntes e de ondas, que interferem na agitação da massa líquida, na dissolução do oxigênio do ar na água e na dispersão dos resíduos. Os ventos podem interferir na deposição de sedimentos em determinadas regiões e na ressuspensão do material de fundo. As comunidades aquáticas tendem a apresentar respostas diretas a estas variações limnológicas (FANTIN-CRUZ; LOVERDE-OLIVEIRA E GIRARD, 2008).

A exposição da superfície do lago às mudanças sazonais das condições meteorológicas e às entradas e saídas de água, bem como às transformações químicas internas, criam gradientes na distribuição de calor e substâncias dissolvidas. Ambos os fatores contribuem para variações de densidade,

responsáveis pela estratificação da coluna d'água (BOEHRER, SCHULTZE, 2009). Ressalte-se que as diferenças de densidades são significativamente maiores em temperaturas acima de 20°C e pequenas desproporções de temperatura entre as camadas podem promover estratificações estáveis (ESTEVES, 1998).

Portanto, os padrões de estratificação da coluna d'água são resultantes da combinação da temperatura com outros fatores, como a morfometria, o tempo de residência e a concentração de sólidos totais dissolvidos. Nas regiões de clima tropical, de um modo geral, é comum a ocorrência de estratificação durante a primavera, verão e outono, com desestratificação no inverno ou, ainda, a estratificação e desestratificação diária (ESTEVES, 1998). A perda de calor da água por evaporação no outono e a influência da entrada de água fria de efluentes podem levar à circulação da coluna d'água (instabilidade térmica ou desestratificação). A estratificação tende a ser mais duradoura nos períodos chuvosos, com maior nível de água e menor variação da temperatura diária. Já, em ambientes mais rasos a desestratificação é facilitada por meio da ação dos ventos e perda de calor para a atmosfera. Por sua vez, tais padrões são determinantes de processos, como as migrações de zooplankton, as taxas de crescimento de produtores e o grau de anoxia no hipolímnio (ESTEVES, 1998)

No fundo de áreas com excesso de matéria orgânica, durante a estratificação térmica incide um alto consumo de oxigênio dissolvido e o aumento das concentrações de CO₂, com formação de substâncias reduzidas, tais como amônia (NH₃), gás sulfídrico (H₂S) e metano (CH₄). Quando ocorre o processo de desestratificação essas espécies químicas podem ser disponibilizadas para a coluna d'água, afetando o desenvolvimento da biota. Além disso, com a desoxigenação do fundo, pode ocorrer a liberação do fósforo aumentando a produtividade do ambiente aquático. A formação de termoclina também tende a aumentar a condutividade no fundo da coluna d'água (HENRY, 1995).

O conhecimento da estratificação é crucial para compreender e prever a evolução da qualidade da água em lagos. A estratificação atua nas correntes, na circulação vertical das massas de água, na reciclagem de nutrientes e bioturbação de material enterrado no sedimento (BOEHRER; SCHULTZE, 2009).

A ação das usinas modifica o regime natural de pulsos de inundação, a velocidade, o tempo de retenção, as correntes de advecção e a profundidade dos ambientes aquáticos, além da área superficial da planície submetida a alagamento (TUNDISI, 1990; 1999). A operação das usinas hidrelétricas e as condições climatológicas determinam alterações do nível altimétrico, vazão e volume/área de diluição do reservatório. A combinação da periodicidade das chuvas com o sistema operacional da usina hidrelétrica produz um ciclo sazonal no armazenamento de água, tempo de retenção e concentração de nutrientes, com consequências sobre a produção primária (THOMAZ et al., 1997; TUNDISI, 1993).

3.4. Impactos potenciais da piscicultura em tanques-rede nos reservatórios

Os reservatórios geralmente refletem os múltiplos impactos gerados por uma variedade de atividades antrópicas (TUNDISI 1999). O diagrama a seguir (Figura 1) mostra os principais processos de contaminação e poluição das águas e suas consequências.

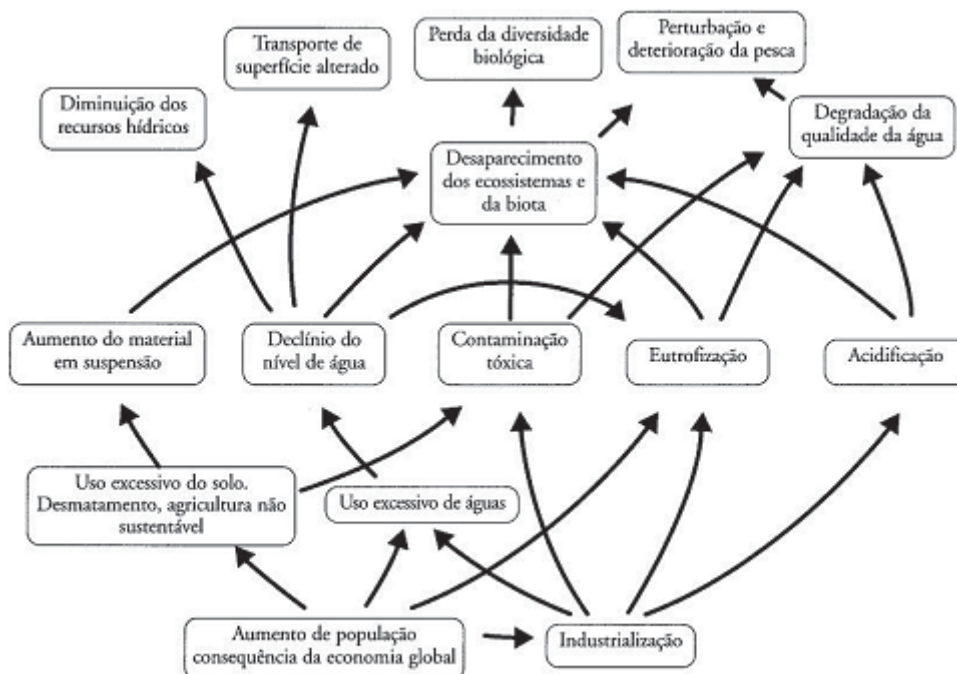


Figura 1. Principais processos de contaminação e poluição das águas e suas consequências. Fonte: International Lake Environment Committee - ILEC, 1996, retirado de Tundisi et al., 2002.

A piscicultura em tanques-rede é uma das atividades antrópicas que contribui para as alterações das características limnológicas do reservatório, uma vez que os resíduos piscícolas podem estimular a produtividade e alterar as características bióticas e abióticas do corpo d'água. No entanto, a avaliação das respostas ambientais aos impactos potenciais da atividade é difícil, devido à complexidade de interações e dos múltiplos fatores que podem afetar o ambiente aquático. Os dados disponíveis indicam que tanques-rede instalados em local adequado, utilizando tecnologias corretas, promovem efeitos pequenos e mais localizados comparativamente aos de outras atividades que lançam efluentes no ambiente aquático (PILLAY, 2004).

Dentre os sistemas abertos, a produção de peixes em tanques-rede é uma modalidade intensiva, baseada na contínua renovação de água, a qual propicia a manutenção da qualidade da água dentro das estruturas de criação e a remoção dos metabólitos e dejetos produzidos pelos animais (COLT; MONTGOMERY, 1991). Esse sistema de criação tem evoluído muito rapidamente nos últimos 20 anos, devido às vantagens técnicas que apresenta sobre os sistemas convencionais de produção, ao menor custo e à maior rapidez de implantação, por utilizar ambientes aquáticos já existentes (ONO; KUBITZA, 2003; SCHREIBER et al., 2003). Por outro lado, o aumento da criação em tanques-rede também é uma resposta às pressões da globalização e da crescente procura por alimentos de origem aquática (TACON; HALWART, 2007).

A produção em sistema intensivo envolve a utilização de densidades de estocagem elevadas, a dependência de alimentos nutricionalmente balanceados, a qualidade genética dos alevinos, entre outras exigências, com vistas ao maior desempenho produtivo (HALWART et al., 2007; KUBITZA, 2000). A maior biomassa produzida pode causar maior risco de impactos ambientais negativos, devido ao potencial aumento de resíduos provenientes de alimentos não consumidos e produtos metabólicos (STEPHENS; FARRIS, 2004).

No Brasil, a espécie mais produzida em tanques-rede é a tilápia, *Oreochromis niloticus*, a qual foi introduzida nos açudes do Nordeste, no início da década de 70, por intermédio do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), difundindo-se para todo o país (CASTAGNOLLI, 2004; PROENÇA; BITTENCOURT, 1994). Nas bacias hidrográficas do estado de São Paulo essa

espécie é considerada estabelecida, uma vez que já constituiu populações em reprodução, aparecendo na pesca extrativa (VERMULM; GIAMAS, 2006).

A principal influência da aquicultura sobre a qualidade da água é o aumento direto dos sólidos suspensos e dos nutrientes decorrentes da matéria orgânica introduzida no ambiente, por meio da ração não consumida pelos peixes (20 a 30%), fezes e subprodutos metabólicos (PILLAY, 2004; TACON, FORSTER, 2003; TOVAR et al., 2000) e/ou indireto por meio da eutrofização da água e consequente aumento da produtividade primária (TACON, FORSTER, 2003).

Geralmente, os resíduos piscícolas apresentam concentrações elevadas de nitrogênio e fósforo (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2006). Esses nutrientes são elementos essenciais para o crescimento do fitoplâncton e das macrófitas aquáticas e importantes para o grau de trofia do ambiente aquático (SOARES; MOZETTO, 2006). O excesso de nutrientes acelera a eutrofização, que gera consequências, como o aumento dos processos naturais da produção biológica em rios, lagos e reservatórios (PILLAY, 2004; TUNDISI et al., 2002). Dessa forma, a fertilização aumentada pela piscicultura em tanques-rede, principalmente em corpos d'água eutróficos, pode resultar na floração de algas que conferem à água características inadequadas para seu consumo, com prejuízos ambientais, econômicos e para a saúde humana (PILLAY, 2004).

As alterações na qualidade da água originadas do crescimento excessivo das cianobactérias podem trazer prejuízos para a gestão das águas interiores (abastecimento de água, recreação, pesca etc), promovendo impactos na economia e na saúde pública (BARTRAM et al., 1999). Estes micro-organismos são produtores de toxinas e de compostos odoríferos trans-1,10-dimetil-trans-9-decalol (geosmina) e 2-metilisoborneol, os quais conferem odor e sabor de terra e mofo à água (YOUNG et al., 1996; ZAT; BENETTI, 2011). Nos peixes os compostos odoríferos ocasionam o sabor de barro, ocorrência conhecida por *off-flavor*, o que deprecia o pescado para sua comercialização.

As cianotoxinas são amplamente reconhecidas como um problema para a saúde humana decorrente da eutrofização, sempre que as condições de temperatura, luz e nutrientes são favoráveis para o crescimento de cianobactérias (BARTRAM et al., 1999; TSUKAMOTO e TAKAHASHI, 2007). A microcistina é

uma cianotoxina que pode ser acumulada em peixes através da cadeia alimentar e tornar-se uma ameaça para a segurança alimentar humana (ZHAO, M. et al, 2006). Magalhães, Soares e Azevedo (2001), em estudo na lagoa de Jacarepaguá, no Rio de Janeiro, demonstraram a presença de microcistina no plâncton e sua bioacumulação no fígado, vísceras e tecido muscular de tilápia *rendalli*, em concentrações próximas ou acima do limite recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para consumo humano ($0,04 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}$).

Do total da ração fornecida aos peixes, uma parcela é consumida, transformada em proteína animal e retirada do ambiente aquático no momento da despesca, principalmente, na forma de carbono, nitrogênio e fósforo. Outra parcela é transformada em fezes e metabólitos que irão se depositar no fundo desses ambientes ou se dissolver na coluna d'água. A ração que não é ingerida pelos peixes, sendo liberada diretamente na água, soma-se a essa última parcela para o acúmulo de matéria orgânica no ambiente aquático. Uma parte da matéria orgânica acumulada pode ser liberada na forma de dióxido de carbono, amônia e fósforo, através do intercâmbio com a atmosfera na interface água e ar. Outra parte significativa é eliminada através das trocas de água e, finalmente, certa quantidade do gás carbônico, nitrogênio e amônia é adsorvida pelo solo e pelo ar na forma de gás de nitrogênio e amônia (BOYD; QUEIROZ, 1997).

Os diferentes componentes dos resíduos piscícolas afetam distintas partes do ecossistema. Os nutrientes orgânicos e inorgânicos dissolvidos e pequenas partículas de fezes afetam as comunidades pelágicas, o estado e a qualidade da água da zona eufótica. Os resíduos na forma de matéria orgânica, matéria particulada e sólidos suspensos, quando presentes em elevadas concentrações, podem promover o aumento na DBO. Sólidos totais dissolvidos (STD) em grande quantidade aumentam a turbidez, que pode restringir a penetração da luz, diminuindo a temperatura e a transparência da água, por conseguinte, afetando as taxas de fotossíntese e de produção de oxigênio (PILLAY, 2004). Por outro lado, os resíduos sólidos, compostos principalmente por carbono orgânico e compostos nitrogenados, provenientes das perdas de alimentos e partículas de fezes, afundam e afetam sedimentos e comunidades bentônicas (OLSEN Y.; OLSEN L, 2008; PILLAY, 2004; 2008; WANG, 2010). Os resíduos sólidos, ao se sedimentarem no leito dos rios podem destruir organismos ou danificar locais de

desova de peixes ou, ainda, reter bactérias, alterando os processos biológicos e químicos no sedimento e na ecologia dos organismos bentônicos (PILLAY, 2004; CETESB, 2006).

O excesso de matéria orgânica dissolvida no ambiente proporciona também condições favoráveis para o desenvolvimento de micro-organismos, principalmente bactérias. No entanto, as informações disponíveis sobre o aumento do número de coliformes fecais associado às condições aquaculturais não são conclusivas, pois existem informações divergentes sobre esse assunto (PILLAY, 2004).

A quantidade de resíduos liberados pela piscicultura em tanques-rede varia com a biomassa utilizada, espécie, fase de desenvolvimento e tipo de alimento, sendo influenciada pelas características do corpo d'água e da estação do ano (i.e. taxas metabólicas) (BEVERIDGE, 2004; PHILLIPS, 1993; PILLAY, 2004). Por sua vez, o impacto desta atividade sobre o ambiente aquático dependerá da carga (concentração) de resíduos liberados, da dispersão pelas correntes e da capacidade de assimilação do ambiente para cada componente específico (AGUARDO-GIMÉNZ; GARCÍA-GARCÍA, 2004; PIEDRAHITA, 2003).

A natureza e a extensão dos impactos ambientais decorrentes de tanques-rede variam de acordo com uma série de fatores, tais como, as técnicas de manejo, a localização dos empreendimentos, a alimentação fornecida, a gestão da água e a capacidade de assimilação do meio ambiente aquático e terrestre. Os impactos ambientais são mais pronunciados em criações com grande número de unidades produtivas concentradas em áreas protegidas com pouca circulação de água (PILLAY, 2004; TACON; FORSTER, 2003). Pisciculturas intensivas, instaladas em baías protegidas, tendem a aumentar a sedimentação, a demanda bioquímica de oxigênio e a carga de nutrientes. A própria presença das estruturas de criação diminui a velocidade das correntes e propicia o aumento da sedimentação. O acréscimo de material orgânico no fundo implica em maior consumo de oxigênio, podendo ocasionar anoxia e estimular a produção de gás sulfídrico, nitrogênio amoniacal e metano. Esses gases, além de prejudicar os organismos bentônicos, podem ser liberados e comprometer a qualidade da coluna d'água (PILLAY, 2004).

A qualidade da ração (composição, granulometria, estabilidade na água, digestibilidade e taxa de conversão alimentar) e o manejo alimentar (quantidade e frequência do fornecimento da ração) são pontos fundamentais para o desenvolvimento sustentável da piscicultura em tanques-rede. O uso de rações com altos coeficientes de digestibilidade proporciona melhores respostas de conversão alimentar, maximizando o aproveitamento do alimento, os lucros e minimizando o impacto ambiental que alguns desses ingredientes podem propiciar (PEZZATO et al., 2002). Ressalte-se que o alimento fornecido é o principal componente do custo operacional da produção de peixes em tanques-rede, por volta de 69%, portanto economicamente também é importante aumentar a eficiência da alimentação (FURLANETO et al., 2010).

Nas pisciculturas em águas continentais, maior atenção tem sido dada ao aumento da concentração de fósforo total, o qual tem sido constatado por diversos pesquisadores em áreas com criação em tanques-rede (BEVERIDGE, 2004; BRISTOW et al., 2008; GUO; LI, 2003; PHILLIPS, 1993; SANTOS et al., 2008). De uma maneira geral, o fósforo é apontado como principal indutor da eutrofização, principalmente para regiões tropicais (HAMBLIN; GALE, 2002; SALAS; MARTINO, 1991; 2001). No entanto, a relação do aumento de fósforo com a produtividade primária é influenciada por outras condições limitantes (i.e. luz, cadeia trófica, tempo de residência e velocidade das correntes) (KIMMEL et al., 1990; PAGIORO et al., 2005; PILLAY, 2004). A pastagem do zooplâncton sobre o fitoplâncton, por exemplo, pode interferir na produtividade primária por meio da remoção adicional de produtores primários (PILLAY, 2004).

A maior parte do fósforo é excretada pelos peixes na forma de fosfato pelas vias urinárias, enquanto a amônia representa de 80 a 90% do nitrogênio expelido (BUREAU, 2004), resultante do catabolismo das proteínas (ONO; KUBITZA, 2003; VINATEA-ARANA, 2004). A retenção pelos peixes e a potencial liberação de nutrientes na água variam em função da qualidade dos alimentos, práticas alimentares e métodos de criação. A concentração de fósforo total nas áreas piscícolas pode sofrer variações em função do teor de fósforo na ração, da taxa de conversão alimentar e do percentual de assimilação do nutriente pela espécie cultivada e pelo ambiente (BEVERIDGE, 2004; CARVALHO, 2006).

Os dados disponíveis sobre a retenção de nitrogênio e fósforo no peixe em relação à alimentação apontam valores entre 10% e 49% e 17% e 40%, respectivamente. Os trabalhos sobre a quantidade de nitrogênio e fósforo lançados nas fezes apresentam resultados que variam de 3,6% a 35% e de 15% a 70%, respectivamente. Finalmente, as informações sobre excreções de nitrogênio e fósforo dissolvidos registram valores entre 37% a 72% e 1% a 62%, respectivamente (PIEDRAHITA, 2003). Ressalte-se que contribuem para a variação dos resultados as diferenças entre os procedimentos experimentais analíticos, entre as espécies e entre o manejo da piscicultura.

Atualmente, sob o enfoque de sustentabilidade ambiental, busca-se determinar a quantidade de carga máxima de nutrientes provenientes da piscicultura em tanques-rede que o corpo d'água pode receber sem apresentar sinais de eutrofização. Nesse sentido, o termo capacidade de suporte tem sido empregado por diversos autores, por exemplo, Beveridge (2004), Stigebrandt et al. (2004) e McKindsey et al. (2006), entre outros, como a quantidade que a atividade pode ser acomodada dentro da capacidade ambiental de determinada área. Dessa forma, considera-se que, quando a concentração de nutrientes permanece abaixo de um nível crítico, ocorre a assimilação eficiente pelo ecossistema, sem causar dano à sua integridade (OLSEN Y.; OLSEN L., 2008). No entanto, é esperado que o aumento contínuo de nutrientes decorrentes da piscicultura no decorrer do tempo acelere o processo de eutrofização do reservatório.

No Brasil, a Agência Nacional das Águas (ANA), órgão responsável pela emissão da outorga para reservatórios em águas da União, utiliza para a referida estimativa de capacidade de suporte o modelo simplificado de Dillon e Rigler (1974; 1975), com base na carga máxima de fósforo permissível, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2006 (BRASIL, 2006). Essa normativa dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Outras alterações químicas, comumente observadas em áreas com tanques-rede são diminuições na concentração de oxigênio e no pH na coluna d'água. Nas pisciculturas o aumento do consumo de OD e a liberação de CO₂ são

esperados em função do aumento e da aceleração dos processos metabólicos decorrentes da atividade piscícola (respiração dos peixes e de toda a cadeia alimentar, decomposição da matéria orgânica acumulada e da excreção dos animais). Baccarin e Camargo (2005), avaliando o impacto ambiental da produção de tilápias-do-nylo em diferentes manejos alimentares, verificaram que com o aumento da biomassa dos peixes ocorreu a redução gradativa dos teores de oxigênio dissolvido, além do aumento dos valores de turbidez e de material em suspensão no efluente.

4. ÁREA DE ESTUDO

O rio Paranapanema nasce no município de Capão Bonito, no Planalto Atlântico, na região sudeste do estado de São Paulo. A seguir o rio atravessa a depressão periférica entrando no Planalto Central, onde fica a usina hidrelétrica de Chavantes, objeto de estudo da presente pesquisa.

O reservatório de Chavantes fica localizado na divisa entre os estados de São Paulo e Paraná (SE/S), estando sua barragem situada nas coordenadas 23°07'00" S e 49°44'00" W. Esse reservatório faz parte de um complexo construído, a partir da década de 50, para fins de geração de energia elétrica (Figura 2). Atualmente, 11 (onze) reservatórios formam o sistema em cascata do rio Paranapanema, estando a maioria sob a concessão da empresa americana Duke Energy.

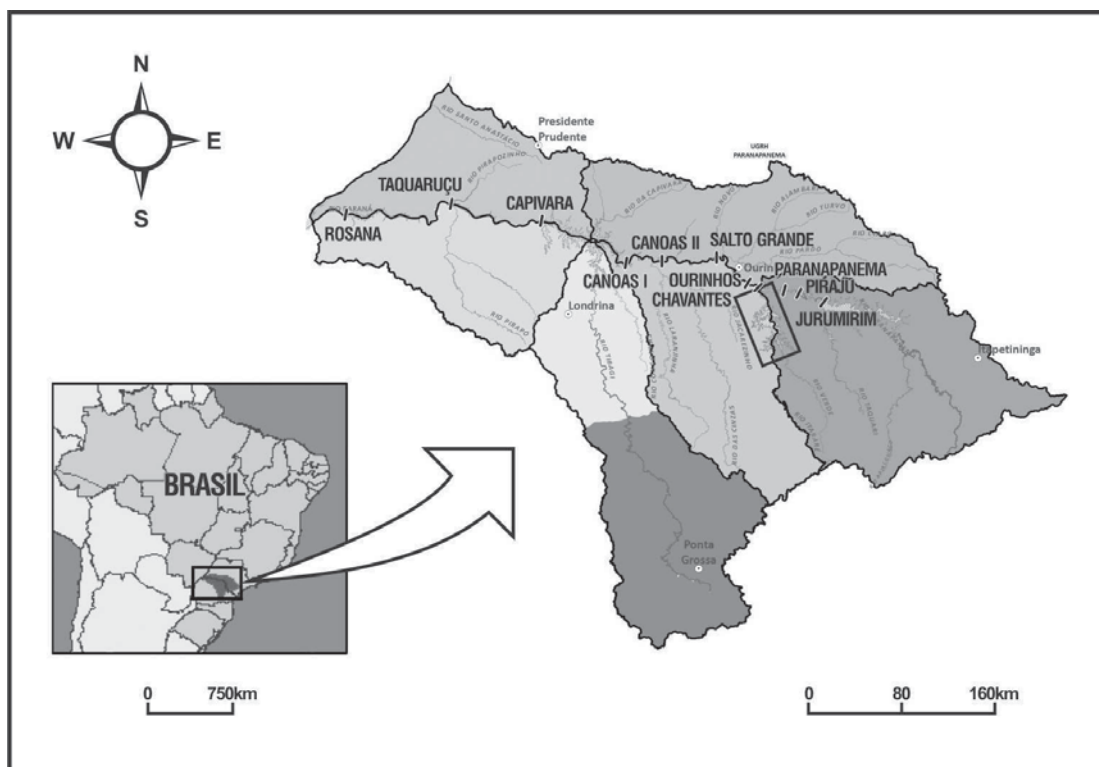


Figura 2. Localização da bacia hidrográfica do rio Paranapanema, SE/S, Brasil, e do complexo de reservatórios em cascata.

O reservatório de Chavantes é do tipo de acumulação, o qual tem por finalidade o armazenamento da água para geração de energia elétrica e cujo volume retido serve para alimentar as represas de jusante. Nesse tipo de reservatório a operação da usina hidrelétrica costuma promover alterações mais pronunciadas. Além da geração de energia, o reservatório é utilizado para abastecimento público, consumo industrial, irrigação, recreação, dessedentação de animais, transporte, lançamento de efluentes domésticos, pesca, preservação da flora e da fauna e, mais recentemente, piscicultura no sistema de tanques-rede.

Chavantes possui área de 400 Km², grandes profundidades, capacidade de armazenamento de 9.410 hm³ e vazão média anual de 310 m³ s⁻¹ (DUKE ENERGY, 2003, 2006). O tempo de residência do reservatório é por volta de 400 dias, o que faz com que suas características limnológicas sejam similares àsquelas observadas em lagos naturais (NOGUEIRA et al., 2006; PERBICHE-NEVES; NOGUEIRA, 2010).

Este reservatório apresenta significativa variação sazonal da cota altimétrica e da vazão total (vertida e turbinada), com influência do sistema operacional da usina (HENRY, 2004; PERBICHE-NEVES, 2010).

Na figura 3 é apresentada graficamente a variação mensal do nível da água e da vazão defluente do reservatório de Chavantes entre os meses de dez/06 a nov/07.

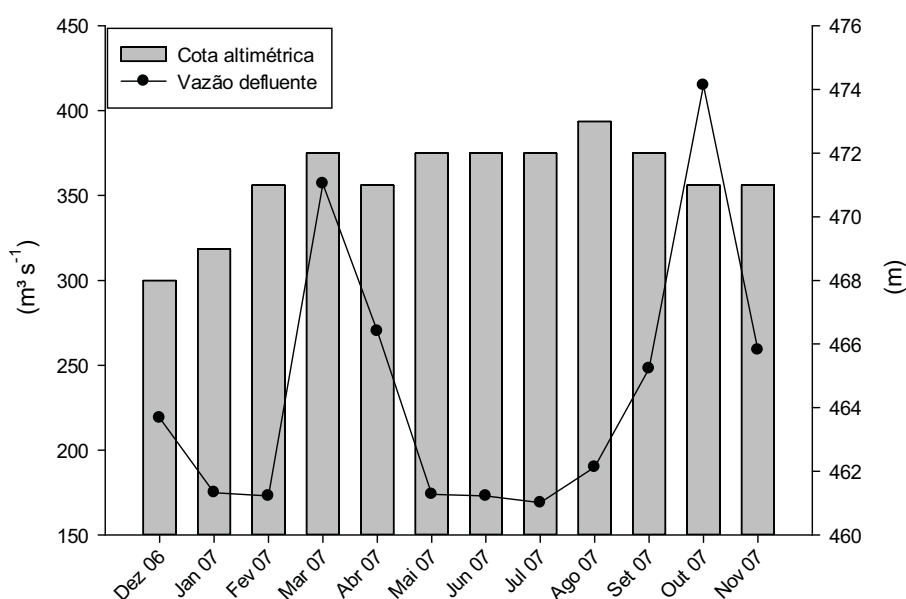


Figura 3. Variação mensal da cota altimétrica e da vazão defluente total do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, no período de dez/06 a nov/07.

O nível da água do reservatório variou da cota 472,57 m no mês de ago/07 até a cota 468,02 m no mês de dez/06, portanto com amplitude de 4,55 m. O reservatório apresentou ampla oscilação da vazão total defluente (turbinada e vertida), com valores mínimos próximos a $170 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$, no mês de jan/07 e entre mai/07 e jul/07. Os valores máximos, acima de $320 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$, ocorreram nos meses de mar/07 e out/07, provavelmente para atendimento da demanda de usinas a jusante, mas esse aumento resultou em apenas 1,0 m de desnível da água entre mar/07 e abr/07 e de 2,0 m entre ago/07 e out/07.

O reservatório de Chavantes fica situado em uma região de transição climática, de cwa para cwf (KÖPPEN, 1948), no qual se verifica uma estação mais fria bem delimitada, mas com ocorrência de chuvas. O município de Fartura pertence à unidade pluvial Cuestas Basálticas, subunidade Fartura, com precipitação anual entre 1.500 a 1.800 mm (DUKE ENERGY, 2002). A região mais próxima à barragem faz parte da unidade pluvial denominada Oeste, subunidade Médio Vale do Paranapanema, a qual apresenta pluviosidade média anual de 1.300 a 1.600 mm. Nesta região é comum o registro de um pico de chuvas no inverno (SANT'ANNA NETO, 1995; 2000).

No período de dez/06 a nov/07 foi registrado um total de precipitação de 1.722 mm. A precipitação mensal acumulada nesse período está apresentada na figura 4. Os meses de dez/06 e de jan/07 apresentaram maior precipitação, respectivamente, 327,20 mm e 377,20 mm. O período mais seco ocorreu entre os meses de abr/07 e set/07, mas em jul/07 foi registrada uma precipitação de 128,00 mm.

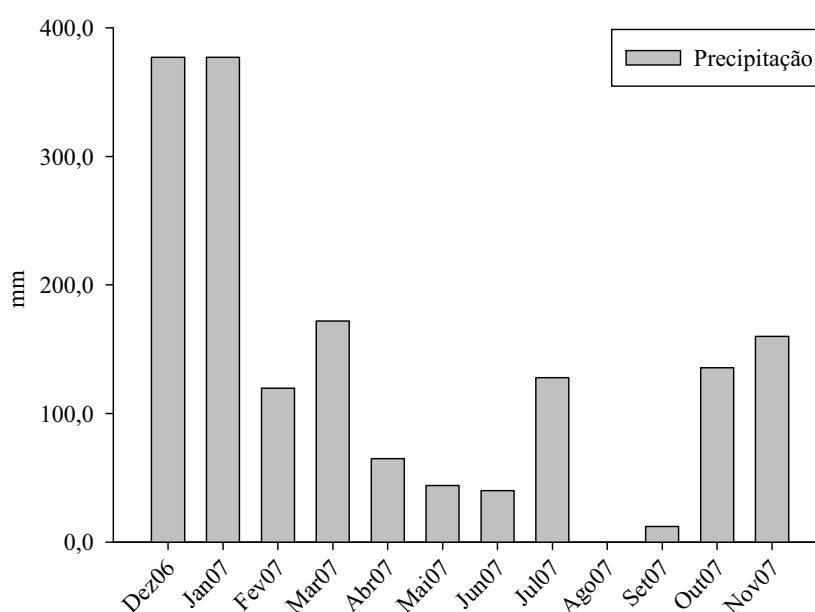


Figura 4. Variação da precipitação mensal acumulada (mm) registrada na região do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, no período de dez/06 a nov/07. Fonte: Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas - CIIAGRO, Ourinhos/SP, 2007.

Neste mesmo período, a temperatura média do ar registrada próxima ao reservatório variou entre a máxima de 26,7 °C no mês de mar/07 e a mínima de 18,4 °C no mês de jul/07. As menores médias de temperatura, abaixo de 21,0 °C, foram registradas entre os meses de mai/07 e ago/07. No restante dos meses as temperaturas médias estiveram acima de 25°C. Na figura 5 está apresentada a variação dos valores médios de temperatura durante o período do estudo.

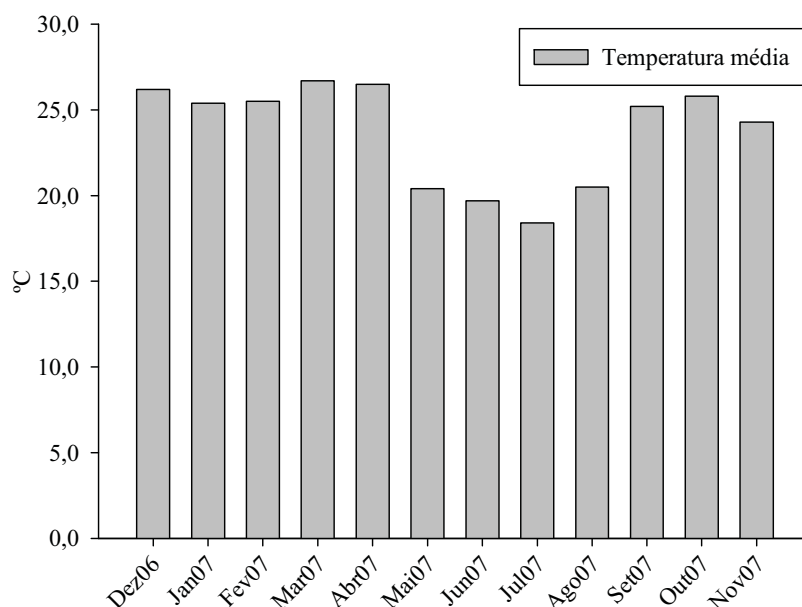


Figura 5. Variação da temperatura média do ar (°C) na região do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, no período de dez/06 a nov/07. Fonte: CIIAGRO, Ourinhos/SP, 2007.

Próximo à barragem, principalmente do lado paranaense, o relevo se apresenta mais acidentado com altitudes variando entre 600 a 800 m. Nestas áreas a formação geológica aflorante é constituída pela formação Serra Geral, a qual é caracterizada por basalto e basalto-andesito, intercalada por camadas de arenito, litorarenito e arenito vulcânico. Na região do município de Fartura a geologia é mais complexa, aparecendo mais de um tipo de afloramento (e.g. Grupo Passa Dois e Quatá), cuja maioria é caracterizada por argilito e siltito, que dão origem a solos mais susceptíveis à erosão laminar e linear (DUKE ENERGY, 2002; CBH-MP, 2006). Essas informações são importantes porque a estabilidade

das encostas é influenciada pelo tipo de relevo, perfil de vertente e uso do solo, com consequências nos processos erosivos e de assoreamento.

No estado do Paraná os municípios Ribeirão Claro, Carlópolis, Siqueira Campos, Salto do Itararé e Santana do Itararé são os que se relacionam mais diretamente com o reservatório. No lado de São Paulo esses municípios são representados por Chavantes, Ipauçu, Piraju, Timburi, Fartura, Barão de Antonina, Bernardino de Campos, Coronel Macedo, Itaporanga e Taguaí (DUKE ENERGY, 2002).

Os municípios lindeiros ao reservatório possuem população entre 5.000 a 29.000 habitantes e têm a agropecuária como principal atividade econômica. A cobertura vegetal se divide entre pastagens, que constituem a área de maior recobrimento na região, culturas anuais e permanentes, hoje com destaque para a cana-de-açúcar. Manchas de vegetação nativa são mais significativas nos municípios de Timburi e parte de Fartura. O setor de turismo é representativo nessa região, tendo sido incrementado a partir da construção das barragens (DUKE ENERGY, 2002; CBH-MP, 2006).

A qualidade da água nesta região é classificada como boa, pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), considerando-se o Índice de Qualidade das Águas (IQA). No entanto, alguns parâmetros que comprovam o lançamento de esgotos nos corpos d'água (oxigênio dissolvido, coliformes fecais e fósforo total), frequentemente apresentam índices fora dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2006). Nessa normativa, a maior parte dos corpos d'água continentais estão enquadrados na classe 2. Assim, a carga poluidora proveniente de esgotos domésticos não tratados, mais a carga resultante das atividades industriais, acabam comprometendo as condições dos corpos d'água nessa região (CBH-MP, 2006). Por exemplo, a coleta e o tratamento de esgoto representavam, respectivamente, em Ipauçu, 100% e 0%, em Piraju 99% e 0%, em Timburi 99% e 0% e em Fartura 97% e 100% (CETESB, 2006).

Segundo Henry (2004), os valores de déficit de oxigênio e os dados de produção primária do fitoplâncton do reservatório de Chavantes são característicos de ambiente oligotrófico. Por outro lado, conforme o índice de

Carlson modificado por Toledo (1983), que integra clorofila, fósforo e transparência, sua condição de trofia foi avaliada entre oligotrófica à mesotrófica à montante e na barragem de Chavantes (NOGUEIRA et al., 2002).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Seleção das áreas

Os trabalhos de campo tiveram início em outubro de 2006, com o reconhecimento das áreas de estudo, estabelecimento das parcerias com os piscicultores e definição da logística de trabalho. Nesta fase, foram utilizados como material de suporte para a seleção das áreas, folhas topográficas na escala 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), imagens de satélite do programa Google Earth e plantas georreferenciadas das pisciculturas.

Foram selecionadas duas áreas aquícolas para o desenvolvimento da pesquisa: piscicultura 1 (49°, 41'40,33"W e 23°08'20,16"S), na região da barragem (lacustre) do reservatório, no braço do rio Paranapanema, no município de Timburi, e piscicultura 2 (49° 35' 04,49"W e 23° 22' 40,49"S), na região de transição rio-reservatório, no braço do rio Itararé no município de Fartura. Outras duas áreas sem piscicultura foram avaliadas para comparação dos resultados, a aproximadamente 2 Km de distância de cada um dos referidos empreendimentos (Figuras 6, 7 e 8). Estas últimas áreas foram selecionadas em função da localização, no mesmo compartimento do reservatório das pisciculturas com as quais seriam comparadas e, por apresentarem, em princípio, atributos favoráveis para a instalação de tanques-rede. Tais áreas foram denominadas controles para facilitar a expressão em gráficos e tabelas, não significando, portanto, áreas experimentalmente controladas.

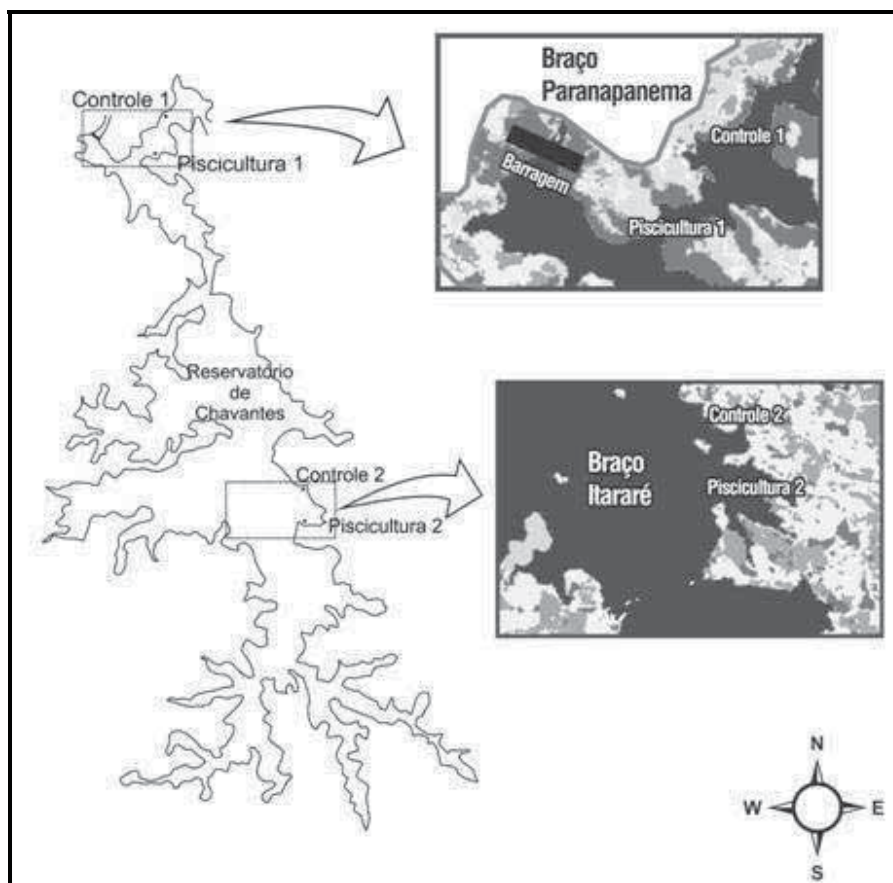


Figura 6. Localização das regiões de estudo no reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S.



Figura 7. Localização das áreas avaliadas na região lacustre do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S. Fonte: © Google; Image Digital Globe, 2011.

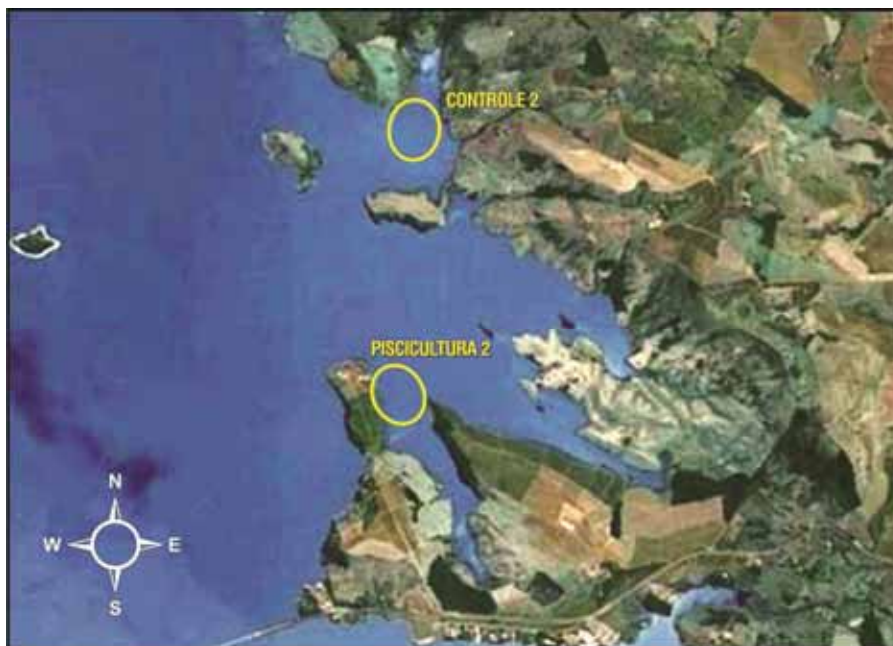


Figura 8. Localização das áreas avaliadas na região de transição do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S. Fonte: © Google; Spot Image, 2011.

5.2. Estimativa de ração e biomassa nas pisciculturas

As produções foram realizadas em 2 ciclos (verão e inverno), em sistema multifásico, no qual as tilápias (*Oreochromis niloticus*) eram periodicamente selecionadas e agrupadas segundo seu tamanho.

A piscicultura 1 foi instalada em 2005 e no início do experimento, em 2006, contava com 250 tanques-rede de 6,0 m³ de volume útil, com produção estimada em 585 Kg/tanque-rede, entre dez/06 e nov/07, conforme informação do produtor. A biomassa utilizada na criação foi estimada em 292,5 t, considerando-se a produção por tanque-rede (585 Kg) multiplicada pelo número de tanques rede (250) e multiplicando-se por 2 (ciclos de verão e inverno). A quantidade de ração foi calculada em 400, 72 t, a partir dos dados zootécnicos, conforme Tabela 1, considerando-se a média de conversão alimentar aparente (CAA) de 1,37 multiplicada pela biomassa total.

A piscicultura 2 foi implantada em 2004, possuindo no início da pesquisa 500 tanques-rede entre 4,0 m³ a 36,0 m³ de volume útil, com predomínio de

unidades produtivas de 18,0 m³. A quantidade de ração fornecida mensalmente na piscicultura 2 variou de 44 t em jul/07 a 153 t em mar/07, totalizando 1.276 t, conforme dados fornecidos pelo piscicultor (Figura 9). Ressalte-se que esses dados não foram disponibilizados pelo produtor da piscicultura 1. A partir dessa informação e da Tabela 1 a biomassa de peixes nesse empreendimento foi estimada em 664,58 t, dividindo-se a quantidade total de ração pela média de CAA do período (1,92).

No período mais quente, como esperado, houve a intensificação das atividades, demonstrada pelo aumento da biomassa de peixes e do fornecimento de ração. A temperatura do ambiente define a intensidade metabólica dos organismos, de forma que a elevação da temperatura resulta no aumento do consumo de alimentos, crescimento dos peixes e eliminação de resíduos nitrogenados (BUREAU, 2004). Por outro lado, nos meses mais frios o fornecimento de ração é realizado apenas para a manutenção dos animais. No entanto, fatores do manejo, tais como, capacitação do tratador, cálculo da quantidade de ração a ser fornecida, com base no registro da temperatura da água, e qualidade da ração, resultam em diferenças entre as pisciculturas, com relação à conversão alimentar e liberação de resíduos.

Tabela 1. Manejo alimentar e dados zootécnicos da criação de peixes em tanques-rede (ciclo de verão e de inverno) na piscicultura 1 (tanques-rede de 6 m³) e na piscicultura 2 (tanques-rede de 18 m³). PM = peso médio, D = densidade, PB = proteína bruta, NR = número de refeições, TA = taxa de alimentação (função da porcentagem do peso corporal) e CAA = conversão alimentar aparente média (quantidade de ração consumida/biomassa final – biomassa inicial).

Piscicultura 1						
Ciclo de verão (150 dias)						
Fase	PM (g)	D (peixes m⁻³)	% PB (ração)	NR/dia	TA (%)	CAA
1	1,0 a 10,0	2.000	50	12	à vontade	0,9
2	10,1 a 50,0	450	42	10	à vontade	1,2
3	50,1 a 200,0	400	42	4	5 a 7	1,5
4	200,1 a 650,0	150	32	4	2 a 5	1,8
Ciclo de inverno (180 dias)						
Fase	PM (g)	D (peixes m⁻³)	% PB (ração)	NR/dia	TA (%)	CAA
1	1,5 a 10,0	2.400	50	10	à vontade	1
2	10,1 a 50,0	540	42	8	à vontade	1,2
3	50,1 a 200,0	420	42	4	5 a 7	1,6
4	200,1 a 650,0	150	32	4	2 a 5	1,8
Piscicultura 2						
Ciclo de verão (150 dias)						
Fase	PM (g)	D (peixes m⁻³)	% PB (ração)	NR/dia	TA (%)	CAA
1	0,5 a 5,0	650	42	12	à vontade	2,2
2	5,1 a 20,0	430	42	10	5 a 7	2
3	20,1 a 200,0	250	40	4	5 a 7	1,6
4	200,1 a 650,0	115	32	4	3 a 5	1,4
Ciclo de inverno (180 dias)						
Fase	PM (g)	D (peixes m⁻³)	% PB (ração)	NR/dia	TA (%)	CAA
1	0,5 a 5,0	780	42	10	à vontade	2,4
2	5,1 a 20,0	510	42	8	5 a 7	2,4
3	20,1 a 200,0	300	40	4	5 a 7	1,8
4	200,1 a 650,0	115	32	4	3 a 5	1,6

Fonte: Dados fornecidos pelos produtores das pisciculturas 1 e 2.

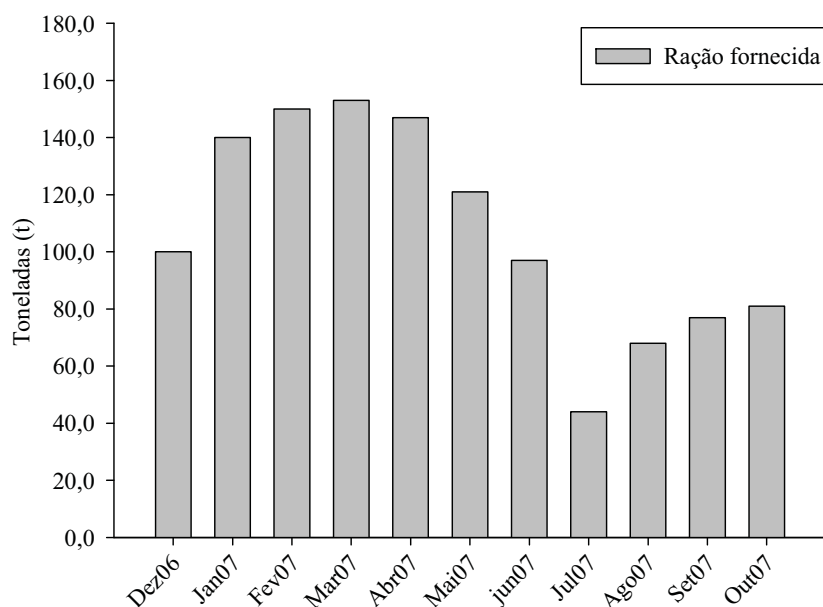


Figura 9. Quantidade mensal de ração fornecida na piscicultura 2, no período de dez/06 a nov/07.

5.3. Coleta e amostragem de água

As coletas das amostras foram efetuadas de dezembro de 2006 a novembro de 2007, com frequência quinzenal, alternadamente na região lacustre (piscicultura 1 e controle 1) e na região de transição (piscicultura 2 e controle 2). Desta forma, procurou-se garantir amostragens mensais em cada uma das áreas avaliadas, durante um ciclo sazonal completo.

Em cada uma das áreas foram estabelecidos nove pontos amostrais (P1 a P9), demarcados com o auxílio de um Sistema de Posicionamento Global (GPS), marca Garmin, série Etrex. Os pontos amostrais foram distribuídos em três linhas em diferentes distâncias do centro dos tanques-rede: P1, P2 e P3 na área central da criação; P4, P5 e P6 à montante (interior da baía) e P7, P8 e P9 à jusante, em direção ao corpo principal. A distância entre essas linhas variou conforme a área ocupada pela piscicultura. Assim, nas áreas da região lacustre a distância foi de 100,00 m entre as linhas e 80,00 m entre os pontos de cada faixa, ao passo que,

na região de transição, foi de 300,00 m entre as linhas e 80,00 m entre os pontos de cada linha (Figuras 10 a 13).

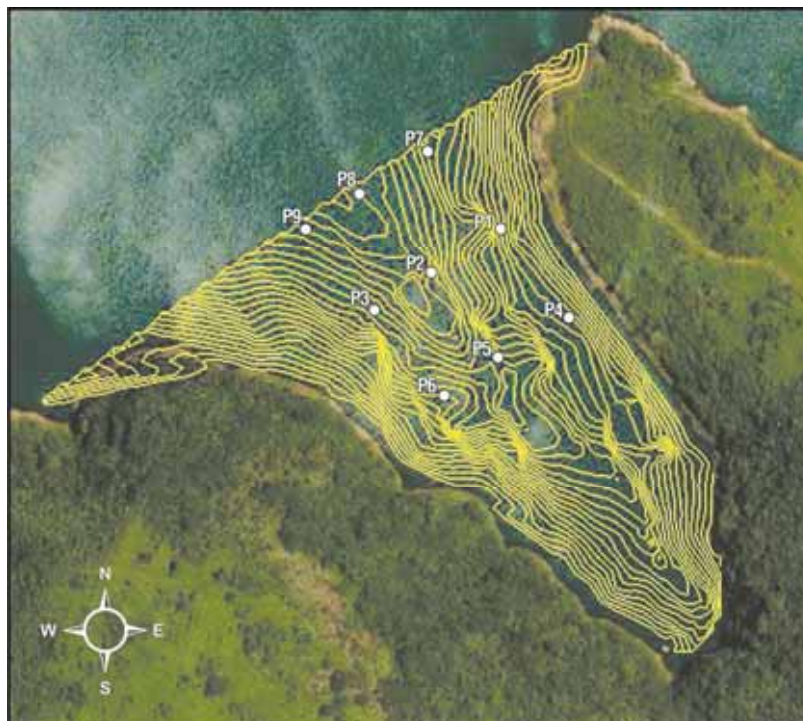


Figura 10. Baía com piscicultura em tanques-rede (piscicultura 1) na região lacustre do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, com pontos amostrais e superposição de batimetria. Fonte: © Google; Image Digital Globe, 2011.



Figura 11. Baía sem piscicultura (controle 1) na região lacustre do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, com pontos amostrais e superposição de batimetria. Fonte: © Google; Image Digital Globe, 2011.

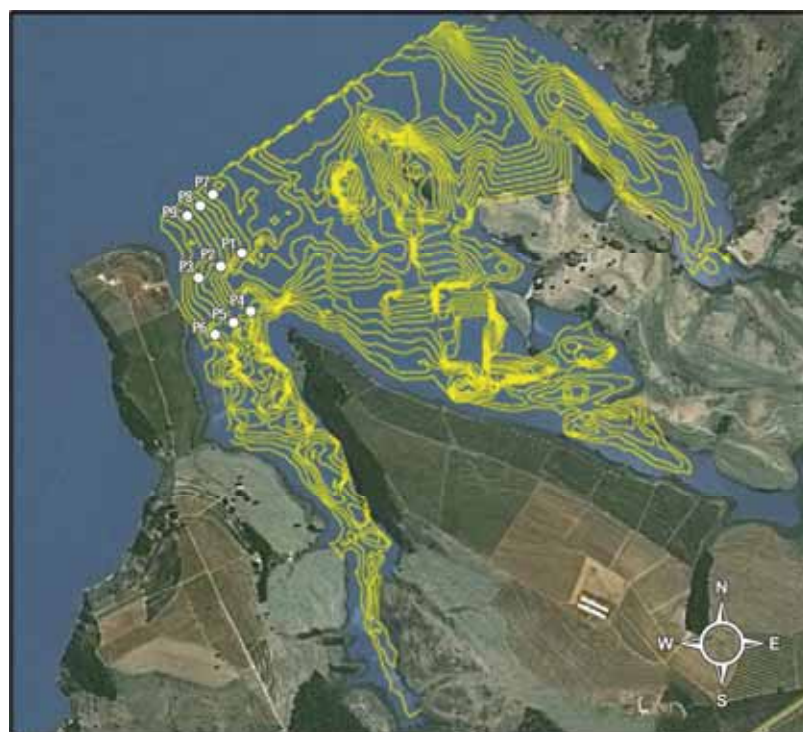


Figura 12. Baía com piscicultura em tanques-rede (piscicultura 2) na região de transição do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, com pontos amostrais e superposição de batimetria. Fonte: © Google; Spot Image, 2011.

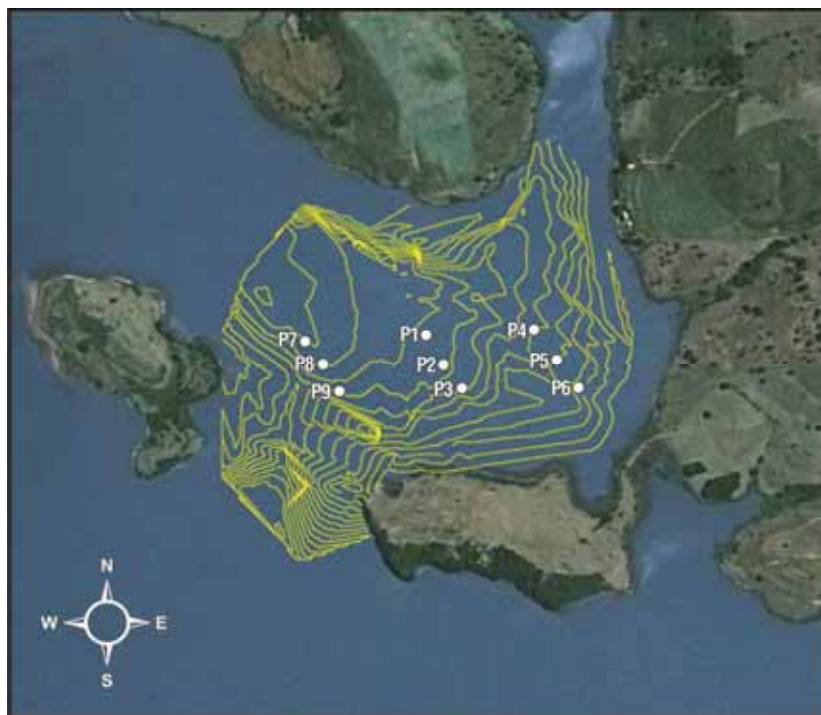


Figura 13. Baía sem piscicultura (controle 2) na região de transição do reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S, com pontos amostrais e superposição de batimetria. Fonte: © Google; Spot Image, 2011.

Inicialmente, media-se a profundidade dos pontos amostrais com uma sonda portátil, marca Speedtech, e a transparência da água com o Disco de Secchi. O meio da zona eufótica era determinado multiplicando-se a medida de transparência por três e dividindo-se por dois (ESTEVES, 1998).

Na superfície, no meio da camada eufótica e no fundo da coluna d'água (1,0 m acima do leito) foram obtidas medidas de pH, da concentração de oxigênio dissolvido (OD), de condutividade elétrica e da temperatura, utilizando-se um equipamento multissensor da marca Horiba, modelo U-10, com cabo de 30,0 m de comprimento. Em locais com profundidade maior que 30,0 m a água era coletada com garrafa de Van Dorn e colocada em um recipiente para as determinações. No mês de abril de 2007 houve troca do multissensor, sendo que o primeiro equipamento utilizado registrava valores de condutividade elétrica abaixo dos valores observados em estudos anteriores, como o de Perbiche-Neves e Nogueira (2010). Devido a esse fato, os dados de condutividade obtidos por meio de sonda foram utilizados para comparação dos perfis verticais mensais

entre as áreas, mas para o cálculo de valores médios mensais e desvios-padrão foram utilizados os resultados determinados em laboratório.

No ponto central (P2) de cada uma das áreas, essas determinações foram feitas a intervalos de um metro de profundidade para elaboração dos gráficos dos perfis verticais. No entanto, no mês de set/07 o equipamento apresentou defeito e não se obteve o OD na coluna d'água do controle 2.

Amostras de água foram coletadas nas três profundidades dos pontos amostrais, acondicionadas em frascos próprios, etiquetadas e transportadas em caixas térmicas com gelo para análise no Centro de Pesquisa em Ciências (CEPECI) da Fundação Educacional do Município de Assis (FEMA). As amostragens de superfície eram retiradas diretamente nos frascos e as do meio da camada eufótica e do fundo da coluna d'água com auxílio da garrafa de Van Dorn.

Nas amostras de todos os pontos e níveis de profundidade foram analisadas mensalmente, de dez/06 a nov/07, as seguintes variáveis, seguidas dos respectivos códigos, conforme metodologias constantes no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998): nitrogênio orgânico total (4.500-N_{org} B), fósforo total (4.500-P E.), sólidos totais dissolvidos (2.540 D), clorofila *a* (10.200 H) e condutividade elétrica, determinada em condutivímetro da marca Micronal modelo B 330. As concentrações de fósforo total foram avaliadas apenas a partir de mar/07, devido a problemas com as determinações laboratoriais nos meses anteriores.

Nas amostras dos pontos centrais de cada linha (P2, P5 e P8) também foi determinada a demanda bioquímica de oxigênio – DBO (alto controle - 5 dias, 20 °C, em *oxitop*®). Apenas na superfície dos referidos pontos foi feita a determinação de coliformes termotolerantes (NMP).

As mensurações em campo foram realizadas simultaneamente às atividades da piscicultura. Este fato implicou na variação do número de unidades de criação durante o período avaliado e pode ter promovido alterações pontuais nas concentrações das variáveis limnológicas.

5.4. Levantamento batimétrico

Os levantamentos batimétricos foram realizados no mês de outubro de 2007 e complementados no mês de dezembro de 2007. Utilizou-se nesse procedimento uma ecossonda marca Furuno modelo GP 1650-F, ajustada para emissão/recepção de ondas a intervalos de 2 segundos, na frequência de 50 kHz, acoplada a um GPS, na referência South American Datum (SAD 69). Ambos os equipamentos foram conectados a um computador portátil e colocados em um barco, que percorreu as áreas em “zig-zag”, com velocidade constante. A correspondência entre a profundidade e os dados de localização resultou em um conjunto de pontos batimétricos georreferenciados. A partir da interpolação desses pontos (método de triangulação linear) foram elaborados os mapas batimétricos (MEURER, 2003; MARTINS; STEVAUX, 2005).

Ressalte-se que, para a elaboração dos mapas batimétricos das áreas da região de transição, houve a necessidade de se ajustarem os dados obtidos para a menor cota altimétrica (470,64 m), já que o levantamento batimétrico foi realizado em duas ocasiões. Os cálculos de área e volume foram gerados diretamente no levantamento batimétrico.

5.5. Análise dos dados

Os resultados das variáveis limnológicas foram organizados e estão apresentados na forma de tabelas (médias e desvios-padrão) e gráficos (médias e desvios-padrão e perfis). Os dados de condutividade elétrica da água obtidos no laboratório foram utilizados para compor o conjunto de dados gerais, e os obtidos em campo, para a elaboração dos perfis.

Realizou-se uma análise descritiva detalhada, comparando-se graficamente a variação das variáveis limnológicas (médias e desvio-padrão) obtidas nos diferentes pontos e profundidades, exceto a transparência (dado bruto), das áreas com e sem piscicultura. Compararam-se separadamente os compartimentos lacustre e de transição.

A avaliação da estrutura térmica e química da coluna d'água foi efetuada a partir dos gráficos de perfis verticais, os quais foram elaborados utilizando-se os dados brutos de temperatura, pH, OD e condutividade elétrica, obtidos em campo, no ponto central (P2) de cada uma das áreas.

A variabilidade das concentrações das variáveis limnológicas entre as áreas também foi investigada com auxílio da técnica exploratória de análise dos componentes principais – ACP (MORRISON, 1990), aplicada separadamente para cada nível de profundidade, utilizando-se o softer statsoft, inc. (2005). Nas ACPs para a verificação da variabilidade entre os meses, consideraram-se os dois primeiros componentes principais (CP) e a média mensal de cada variável limnológica, avaliando-se todos os pontos amostrais (P1 a P9) de cada uma das áreas. O fósforo total não foi considerado nessa avaliação por ter sido analisado apenas a partir de mar/07. Nas ACPs para a verificação da variabilidade espacial entre as áreas, utilizaram-se os dois primeiros componentes principais (CP) e a média anual das variáveis obtida em cada um dos pontos amostrados. Essa análise foi aplicada separadamente aos dados do mês de mar/07, para se verificar a variabilidade entre as áreas em períodos nos quais são esperadas maiores alterações ambientais, em função da criação e da possibilidade de ocorrência de estratificação térmica. A intensificação da criação nesse período pode ser observada na Figura 9, que demonstra o fornecimento de ração na piscicultura 2.

Apenas para as variáveis que não foram avaliadas em todos os pontos amostrais e profundidades (transparência, DBO e coliformes termotolerantes) aplicou-se a análise de variância (ANOVA) bifatorial (*two-way*) e o teste de Tukey ao nível de 5% (Zar, 1999), visando detectar diferenças significativas entre as áreas com e sem piscicultura.

O grau de trofia das áreas estudadas foi determinado utilizando-se o Índice de Estado Trófico (IET) proposto por Carlson (1977), aplicado aos valores médios anuais de transparência, fósforo total e clorofila *a*, conforme as seguintes expressões matemáticas:

$$\text{IET(DS)} = 10 (6 - \ln \text{DS}) / \ln 2$$

$$\text{IET(PT)} = 10 (6 - ([\ln 48 / \text{PT}]) / \ln 2)$$

$$IET(CL) = 10 (6 - [2,04 - 0,68 \cdot \ln CHL / \ln 2])$$

Onde:

DS = profundidade do Disco de Secchi em m;

PT = concentração de fósforo total em mg L^{-1}

CL = concentração de clorofila *a* em mg L^{-1}

Finalmente, os resultados anuais das variáveis limnológicas de cada área (médias e desvio-padrão das amostras de superfície) foram comparados aos padrões para as espécies tropicais e aos limites da legislação, estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

6. RESULTADOS

6.1. Levantamento batimétrico

No fundo da baía onde está instalada a piscicultura 1, foram observadas declividades acentuadas, com profundidade de até 56 m junto ao talvegue, em direção ao leito do rio Paranapanema. A área foi calculada em 226.840 m^2 com volume de 4.081.090 m^3 e profundidade média de 18 m. A região de montante dessa área é afunilada, recebe um pequeno afluente e apresenta pouca movimentação da água. Na figura 14 está apresentado o mapa batimétrico da área com a piscicultura 1.

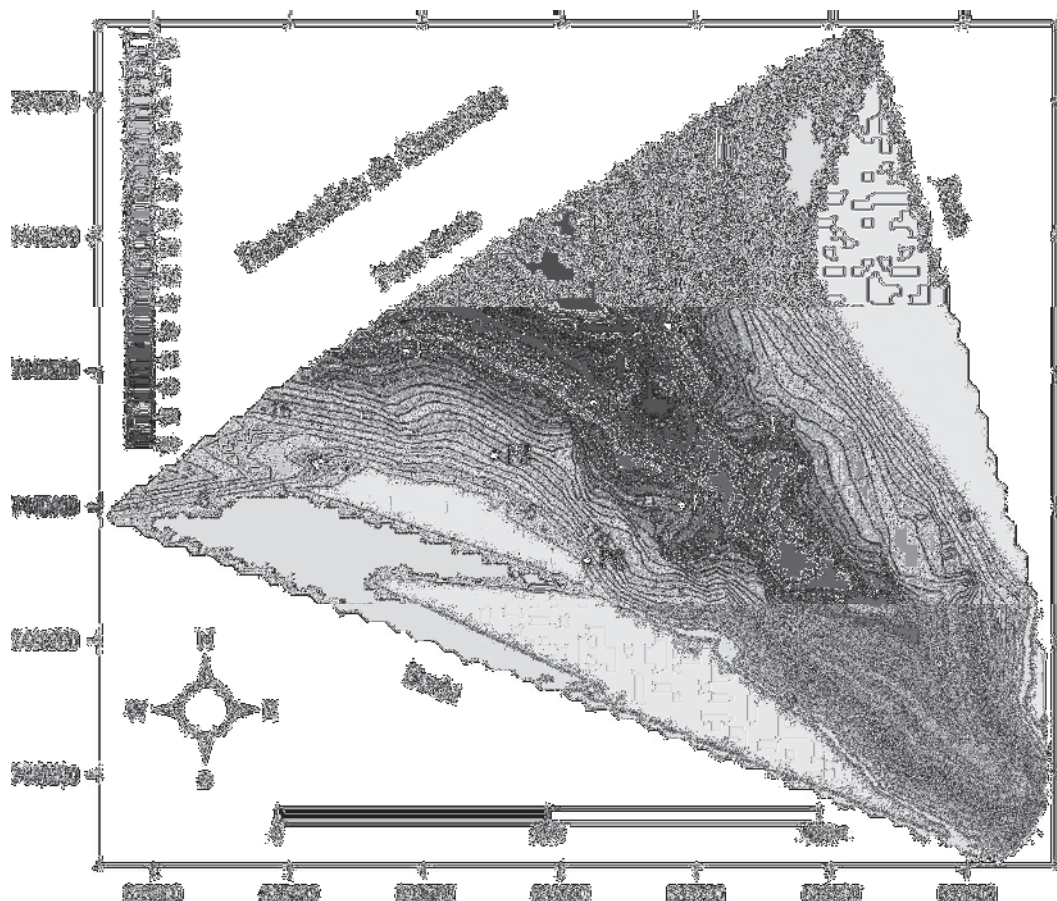


Figura 14. Mapa batimétrico de área com piscicultura em tanques-rede na região lacustre do reservatório da UHE Chavantes (piscicultura 1), com indicação dos pontos amostrais de água (P1 a P9).

Na área sem piscicultura do compartimento lacustre (controle 1), também se verificaram declividades acentuadas, com profundidades máximas de até 80 m junto ao talvegue. A área mediu 346.013 m², com volume calculado em aproximadamente 8.028.864 m³ e profundidade média em 23,2 m. No mapa batimétrico, verifica-se que a conexão dessa baía com o canal principal é mais aberta, comparativamente à área com piscicultura. Na figura 15 está mostrado o mapa batimétrico da área em questão.

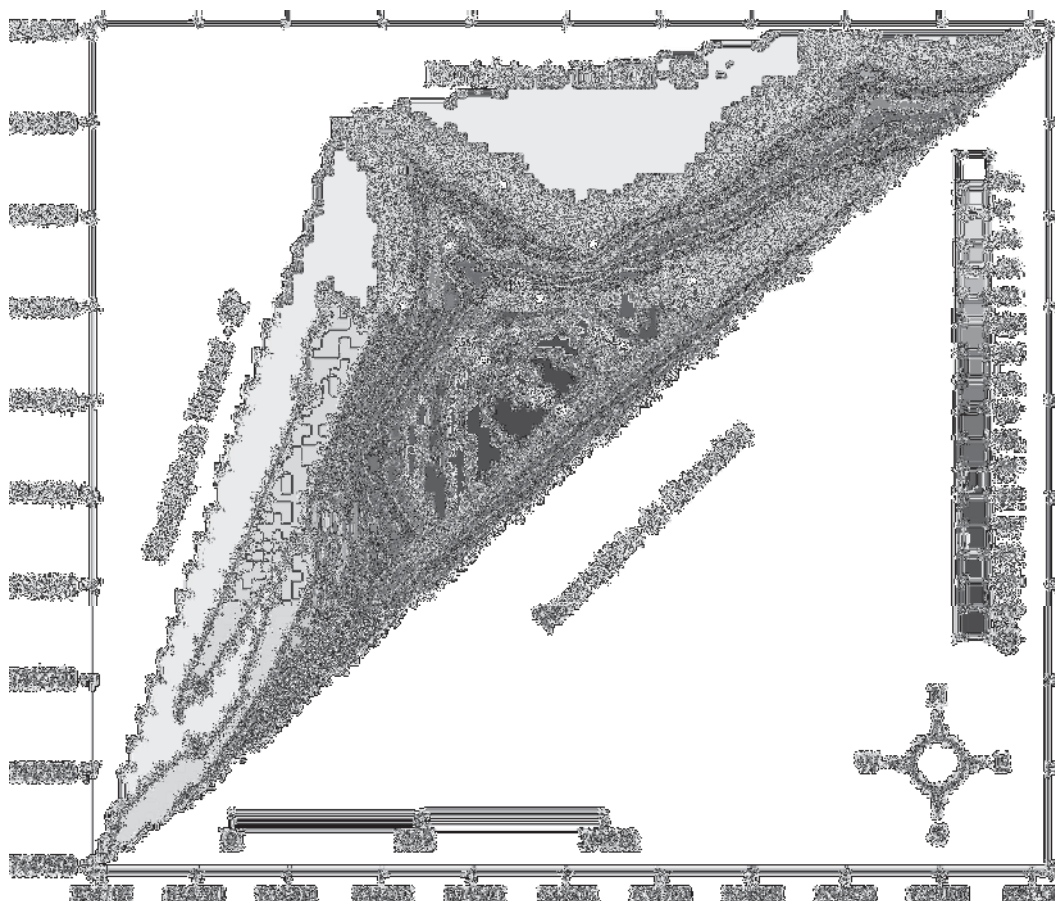


Figura 15. Mapa batimétrico de área sem piscicultura na região lacustre do reservatório da UHE Chavantes (controle 1), com indicação dos pontos amostrais de água (P1 a P9).

A área onde está instalada a piscicultura 2 fica localizada em uma região do compartimento de transição que é formada por três baías conectadas ao canal principal. Nessa área, estimada em 123.895 m^2 , com volume de $1.398.766 \text{ m}^3$, não se verificaram declividades acentuadas, mas se observou incisão do canal bem evidente, com profundidade de até 36 m, sendo a profundidade média de 11,3 m. O mapa batimétrico da área com a piscicultura 2 está apresentado na figura 16.

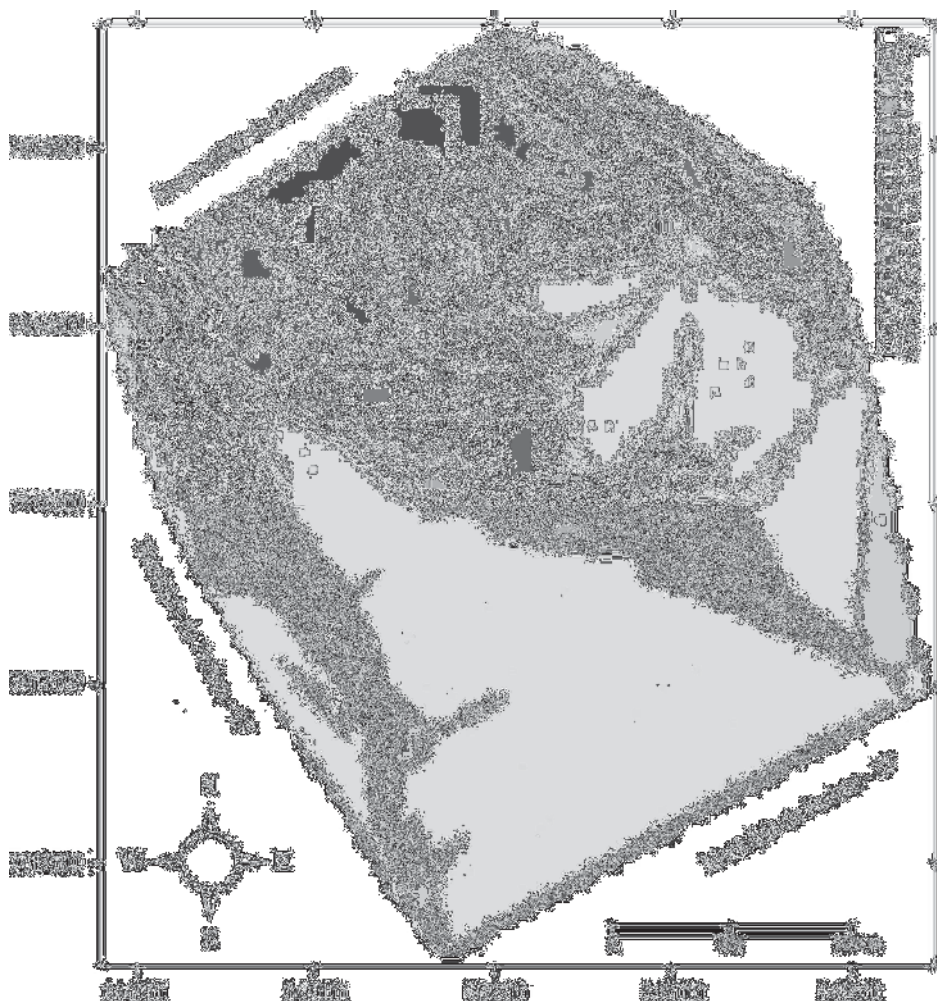


Figura 16. Mapa batimétrico de área com piscicultura em tanques-rede na região de transição do reservatório da UHE Chavantes (piscicultura 2), com indicação dos pontos amostrais de água (P1 a P9).

A área sem piscicultura no compartimento de transição (controle 2) foi medida em 279.404 m^2 , com volume aproximado de $3.075.878 \text{ m}^3$. Não se observaram declividades acentuadas, mas se verificaram áreas de topo e vale bem marcadas, como na área com a piscicultura 2, com profundidades de até 36 m próximo ao talvegue e profundidade média de 11,0 m. O mapa batimétrico dessa área está mostrado na figura 17.

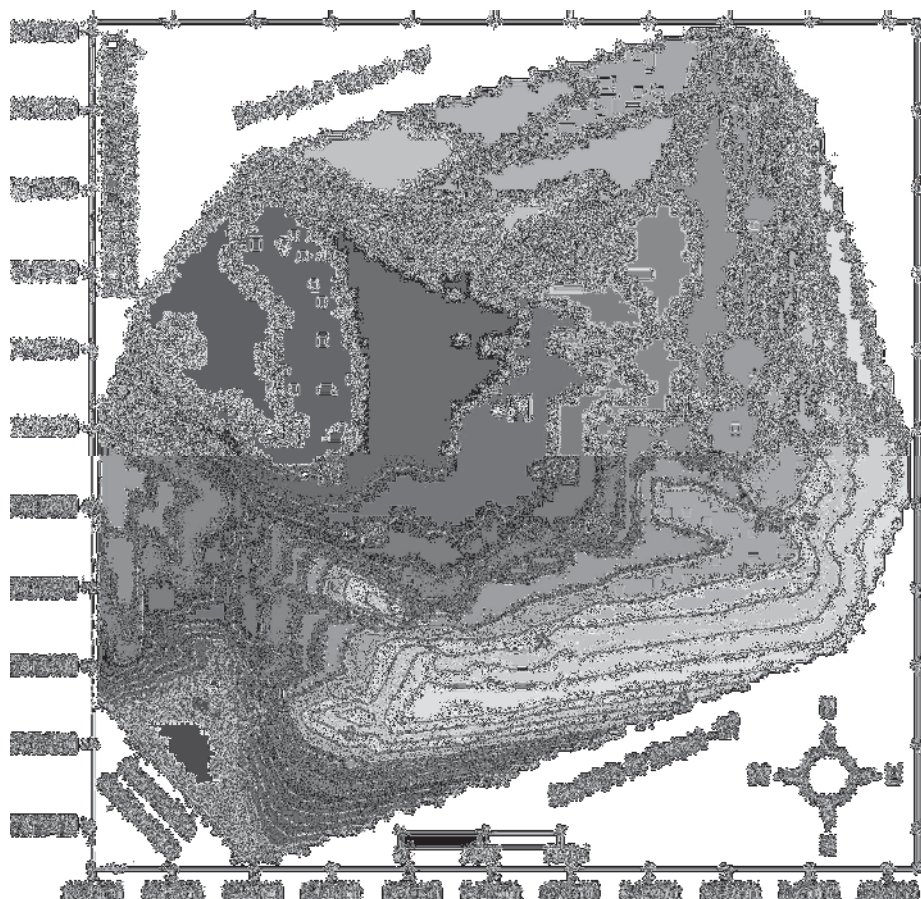


Figura 17. Mapa batimétrico de área sem piscicultura na região de transição do reservatório da UHE Chavantes (controle 2), com indicação dos pontos amostrais de água (P1 a P9).

De um modo geral, verificou-se que o relevo do fundo das baías é irregular, o que implicou em acentuada variação das profundidades dos pontos amostrados. Na figura 18 é apresentada graficamente a média de profundidade dos pontos amostrais (P1 a P9) das quatro áreas avaliadas.

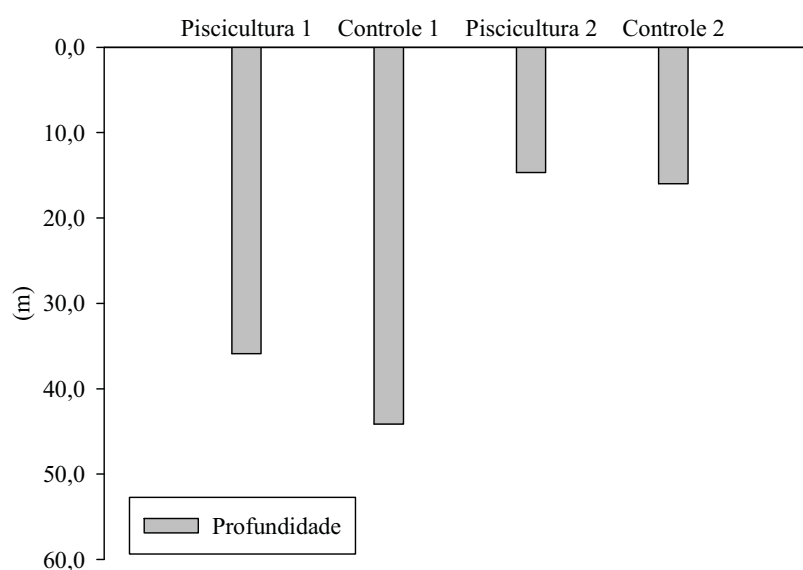


Figura 18. Valores médios da profundidade (m) dos pontos amostrais das áreas avaliadas no compartimento lacustre (piscicultura 1 e controle 1) e no de transição (piscicultura 2 e controle 2), no reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S.

6.2. Variáveis limnológicas

Na tabela 2 estão apresentados os valores médios e desvios-padrão das variáveis limnológicas, obtidos em nove pontos amostrais (P1 a P9), nas diferentes profundidades das quatro áreas avaliadas no presente estudo.

Tabela 2. Valores médios e desvios-padrão de variáveis limnológicas (n=108) avaliadas nos diferentes níveis de profundidade da coluna d'água, de áreas com piscicultura e sem piscicultura (controles) no reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07. OD = oxigênio dissolvido, NOT = nitrogênio orgânico total, PT = fósforo total, DBO = demanda bioquímica de oxigênio, Cond. = condutividade elétrica, STD = sólidos totais dissolvidos, Col. Term. = coliformes termotolerantes.

Superfície da coluna d'água				
	Piscicultura 1	Controle 1	Piscicultura 2	Controle 2
Variável	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP
pH	7,38 ± 0,33	7,51 ± 0,43	7,34 ± 0,44	7,55 ± 0,41
OD (mg L ⁻¹)	7,33 ± 0,75	7,93 ± 0,59	7,22 ± 0,88	7,97 ± 0,40
Temperatura (°C)	25,01 ± 2,97	24,30 ± 2,82	24,28 ± 3,14	23,54 ± 2,79
NOT (µg L ⁻¹)	233,94±68,27	252,09±82,63	274,67±127,54	271,15±141,76
PT (µg L ⁻¹)	36,74 ± 9,13	42,81 ± 7,88	40,05 ± 8,41	39,30 ± 7,53
Turbidez (NTU)	1,96 ± 1,12	2,11 ± 1,19	2,92 ± 1,42	2,55 ± 0,95
DBO (mg L ⁻¹)	2,89 ± 2,14	2,78 ± 1,88	2,67 ± 2,03	2,50 ± 1,86
Clorofila a (µg L ⁻¹)	0,64 ± 0,58	0,78 ± 0,69	0,58 ± 0,59	0,59 ± 0,45
Cond (µS cm ⁻¹)	49,46 ± 4,92	50,18 ± 5,04	54,78 ± 4,19	53,97 ± 4,51
STD (mg L ⁻¹)	3,58 ± 0,45	3,47 ± 0,54	4,05 ± 1,06	3,70 ± 0,54
Col.Term. (NMP 100ml ⁻¹)	209,33 ± 435,62	209,00 ± 456,92	247,11 ± 456,32	195,94 ± 447,65
Transparência (m)	3,52 ± 1,11	3,28 ± 0,87	2,32 ± 0,71	2,55 ± 0,79
Meio da camada eufótica				
	Piscicultura 1	Controle 1	Piscicultura 2	Controle 2
Variável	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP
pH	7,35 ± 0,50	7,38 ± 0,55	7,23 ± 0,48	7,35 ± 0,46
OD (mg L ⁻¹)	7,40 ± 0,65	7,75 ± 0,58	7,22 ± 0,69	7,71 ± 0,43
Temperatura (°C)	24,01 ± 2,82	23,93 ± 2,80	23,43 ± 2,77	23,23 ± 2,71
NOT (µg L ⁻¹)	239,92±85,72	255,29±97,35	268,56±113,09	286,27±167,17
PT (µg L ⁻¹)	37,49 ± 8,93	37,52 ± 9,20	40,95 ± 8,35	40,37 ± 7,37
Turbidez (NTU)	2,23 ± 1,22	2,36 ± 1,71	3,23 ± 1,51	2,63 ± 0,91
DBO (mg L ⁻¹)	3,11 ± 2,25	2,94 ± 2,11	2,92 ± 2,18	2,36 ± 1,69
Clorofila a (µg L ⁻¹)	0,83 ± 1,16	0,69 ± 0,58	0,67 ± 0,53	0,64 ± 0,64
Cond. (µS cm ⁻¹)	50,10 ± 4,61	51,28 ± 5,28	55,07 ± 3,96	54,32 ± 4,91
STD (mg L ⁻¹)	3,67 ± 0,55	3,53 ± 0,53	4,07 ± 1,06	3,71 ± 0,56

Tabela 2. Continuação ...

Variável	Fundo da coluna d'água			
	Piscicultura 1	Controle 1	Piscicultura 2	Controle 2
	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP
pH	7,08 ± 0,42	7,12 ± 0,45	6,95 ± 0,46	7,07 ± 0,46
OD (mg L ⁻¹)	5,56 ± 1,40	5,63 ± 1,75	6,26 ± 1,41	6,57 ± 1,57
Temperatura (°C)	20,92 ± 1,73	21,01 ± 2,28	22,61 ± 2,52	22,41 ± 2,41
NOT (µg L ⁻¹)	254,52±80,31	248,86±88,79	250,18±121,97	282,70±163,75
PT (µg L ⁻¹)	38,23 ± 12,37	38,67 ± 8,62	42,68 ± 9,63	44,05 ± 14,15
Turbidez (NTU)	2,67 ± 2,24	2,54 ± 1,96	4,23 ± 3,60	3,02 ± 1,48
DBO (mg L ⁻¹)	3,22 ± 2,31	2,97 ± 2,05	2,81 ± 2,10	2,56 ± 1,73
Clorofila <i>a</i> (µg L ⁻¹)	1,08 ± 1,29	0,81 ± 0,81	0,74 ± 0,73	0,71 ± 0,64
Cond. (µS cm ⁻¹)	51,59 ± 4,95	52,67 ± 5,57	55,02 ± 4,09	54,53 ± 4,98
STD (mg L ⁻¹)	3,75 ± 0,41	3,63 ± 0,51	4,08 ± 1,07	3,72 ± 0,63

6.2.1. Compartimento lacustre (piscicultura 1 e controle 1)

Temperatura da água

Entre os meses de abr/07 a set/07, foram verificadas menores temperaturas e índices pluviométricos, tanto na piscicultura 1, quanto no controle 1, à exceção de jul/07, quando houve precipitações. Durante esse período, as temperaturas mais baixas da água foram registradas entre mai/07 e ago/07.

A temperatura da água na piscicultura 1 variou de 30,0°C, nos meses de jan/07 e fev/07 (superfície), até 18,7°C, no mês de set/07 (fundo). No controle 1 essa variação foi de 28,0°C, nos meses de fev/07 (superfície) e mar/07 (superfície e meio), até 18,1°C, no mês de out/07 (fundo). Os menores valores foram verificados nas amostras do fundo de pontos amostrais com mais de 50 m de profundidade.

A figura 19 apresenta graficamente a comparação da variação mensal da temperatura da água na piscicultura 1 e no controle 1 durante o período analisado. As maiores médias de temperatura, em torno de 24,0°C, foram registradas de

dez/06 a abr/07 e em nov/07, enquanto as menores, abaixo de 22,2°C, ocorreram entre os meses de mai/07 e ago/07.

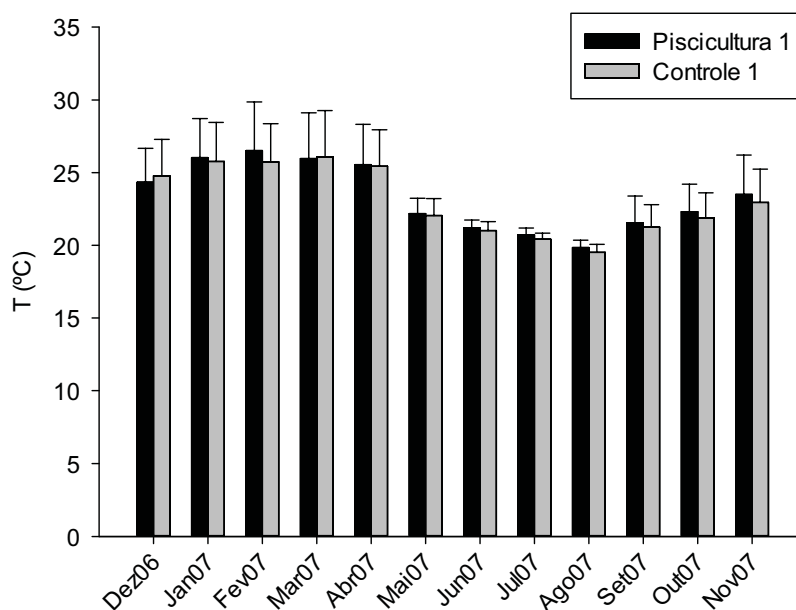


Figura 19. Variação de temperatura da água (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Na figura 20 está apresentada graficamente a variação mensal dos perfis verticais da temperatura da água na piscicultura 1 e no controle 1 durante o período de estudo. A coluna d'água se mostrou estratificada entre os meses de dez/06 a abr/07 e entre set/07 a nov/07, com amplitude de variação da temperatura entre a superfície e o fundo da coluna d'água de até 8°C. A termoclina ocorreu em diferentes níveis de profundidade até que a temperatura da superfície alcançasse o hipolímnio. Uma tendência à desestratificação pôde ser verificada no mês de mai/07, quando ocorreu isoterмия no epilímnio e parte do metalímnio. O ambiente se apresentou desestratificado, com isoterмия de toda coluna d'água, entre jun/07 e ago/07, meses nos quais a menor radiação solar propiciou temperaturas mais baixas.

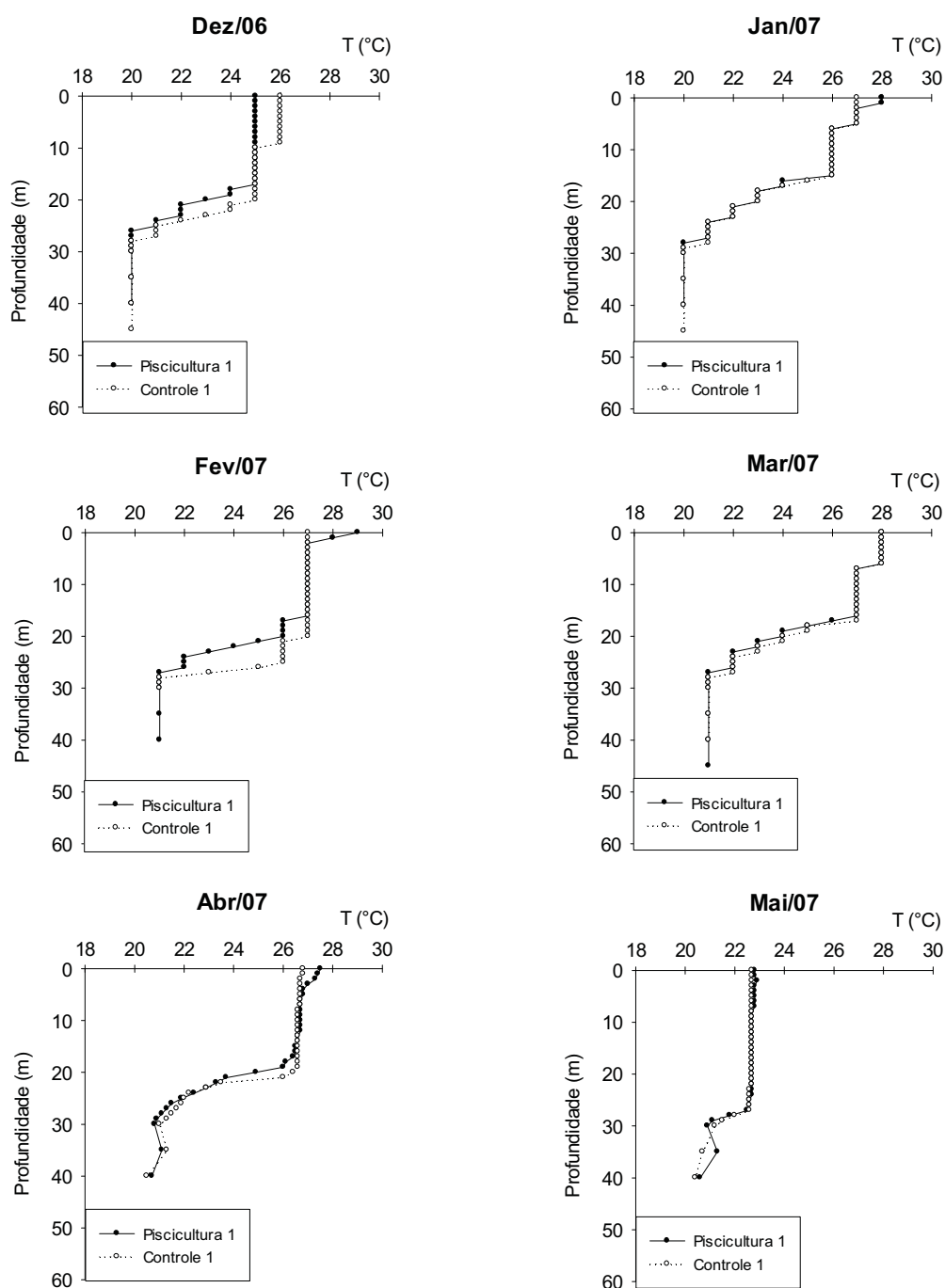


Figura 20. Variação dos perfis verticais da temperatura da água na piscicultura 1 e no controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

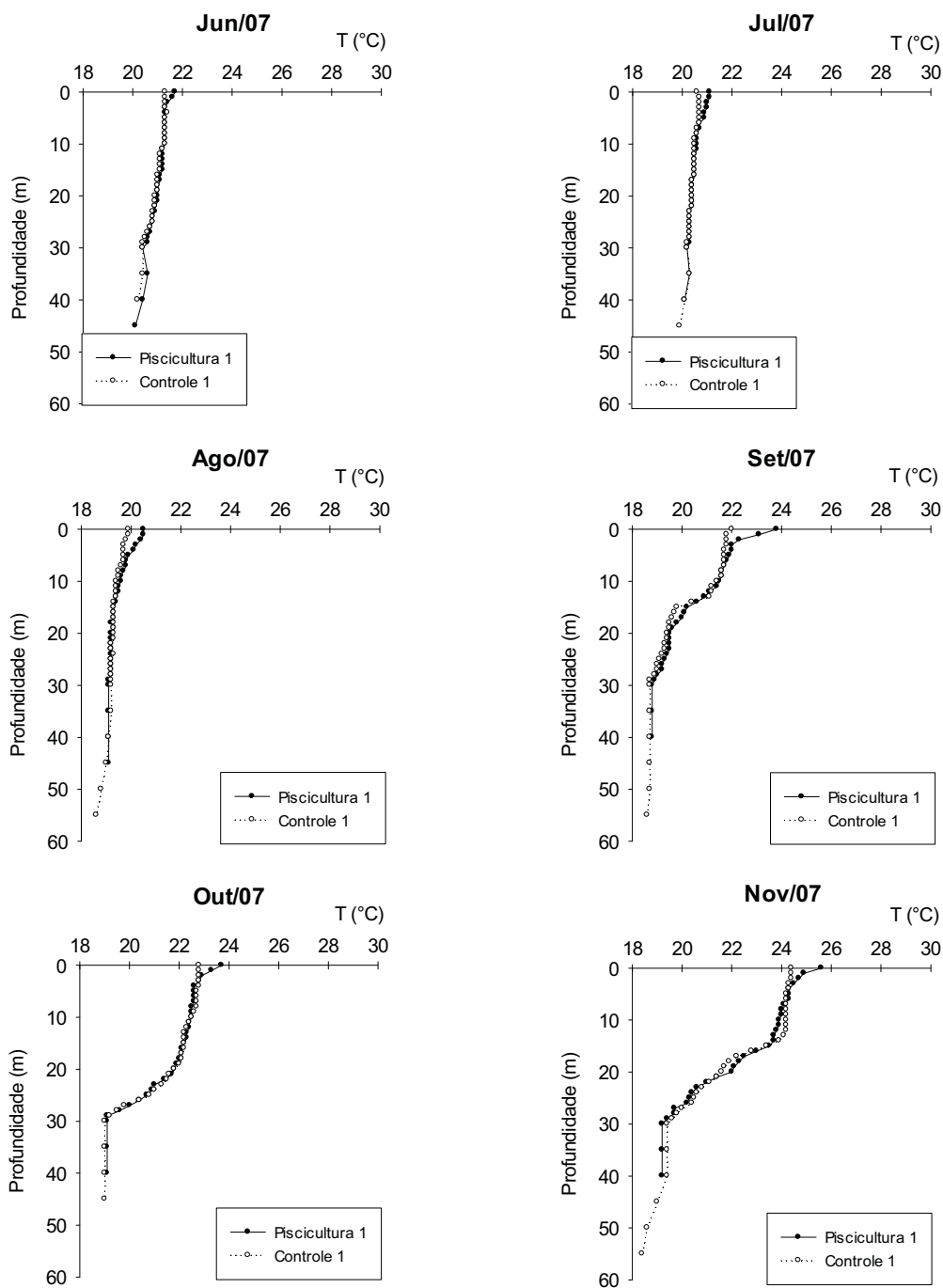


Figura 20. Continuação...

Oxigênio dissolvido (OD)

A concentração de OD na piscicultura 1 variou entre 8,80 mg L⁻¹, no mês de jan/07 (meio), e 2,07 mg L⁻¹, no mês de jun/07 (fundo). No controle 1 essa variação foi entre 9,40 mg L⁻¹, no mês de jan/07 (superfície), e 2,07 mg L⁻¹, no

mês de jul/07 (fundo). Os menores valores foram obtidos nas amostras do fundo de pontos amostrais com mais de 50 m de profundidade.

A figura 21 mostra graficamente a comparação da variação mensal do OD na piscicultura 1 e no controle 1 durante o período avaliado. De um modo geral, as maiores médias de OD foram verificadas na área sem piscicultura. Os maiores valores médios, em ambas as áreas, foram observados nos meses de jan/07 e ago/07, ao passo que os menores ocorreram entre os meses de fev/07 a jun/07. O controle 1 apresentou maiores valores de OD comparativamente à piscicultura 1.

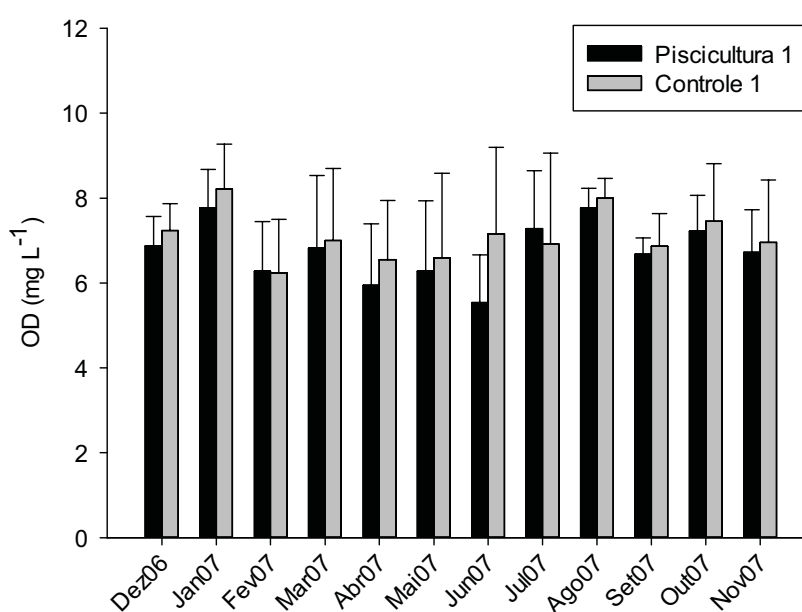


Figura 21. Variação da concentração de oxigênio dissolvido – OD (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Na figura 22, que mostra graficamente a variação mensal dos perfis verticais de OD na piscicultura 1 e no controle 1, verifica-se que ocorreu estratificação na maior parte dos meses, com curva clinograda e acentuado decréscimo de OD no hipolímnio, mas sem demonstrar condição de anoxia. Os perfis mostraram-se mais homogêneos entre jun/07 e set/07. Na maior parte do período, as concentrações de OD na coluna d'água da área com piscicultura

foram menores que na área sem piscicultura até a profundidade de 20 a 30 m. No mês de jun/07, quando o ambiente se desestratificou, foram registradas menores concentrações de OD em toda coluna d'água e maiores amplitudes entre a área com e sem piscicultura.

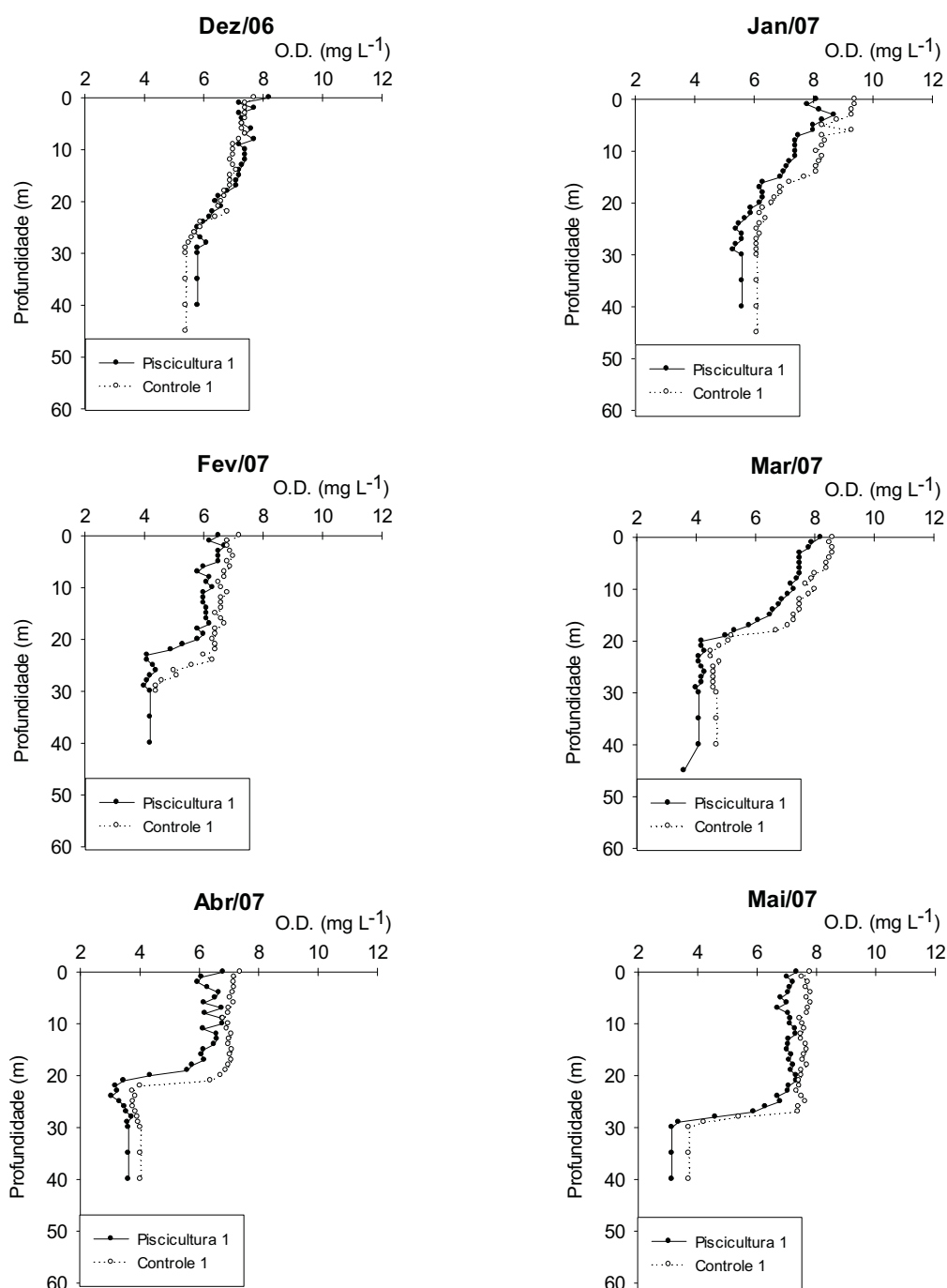


Figura 22. Variação dos perfis verticais do oxigênio dissolvido (OD) na piscicultura 1 e no controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

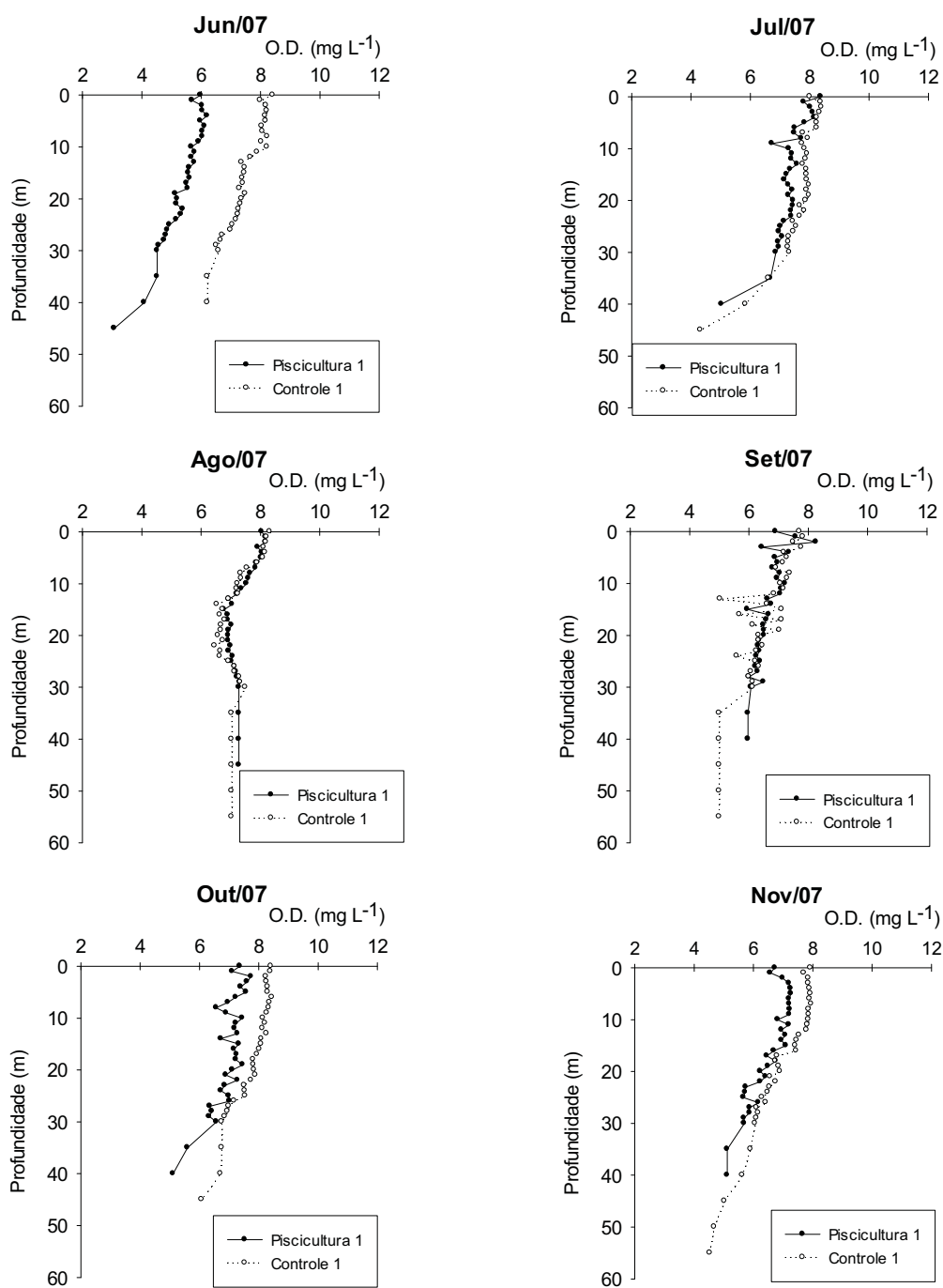


Figura 22. Continuação...

Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH na piscicultura 1 variou entre 8,50, no mês de fev/07 (meio), e 6,21, no mês de jun/07 (fundo). Essa variação no controle 1 foi de 8,50, no mês de

jan/07 (meio), a 6,28, no mês de jun/07 (fundo). Os menores valores de pH sempre foram obtidos nas amostragens do hipolímnio.

A Figura 23 apresenta graficamente a comparação da variação mensal do pH na piscicultura 1 e no controle 1 durante o período analisado. De uma maneira geral, as médias mensais de pH na piscicultura 1 foram menores, comparativamente ao controle 1. As maiores médias de pH em ambas as áreas (acima de 7,5) foram verificadas no período quente e chuvoso, entre os meses de dez/06 e mar/07, enquanto as menores médias ocorreram entre abr/07 e ago/07.

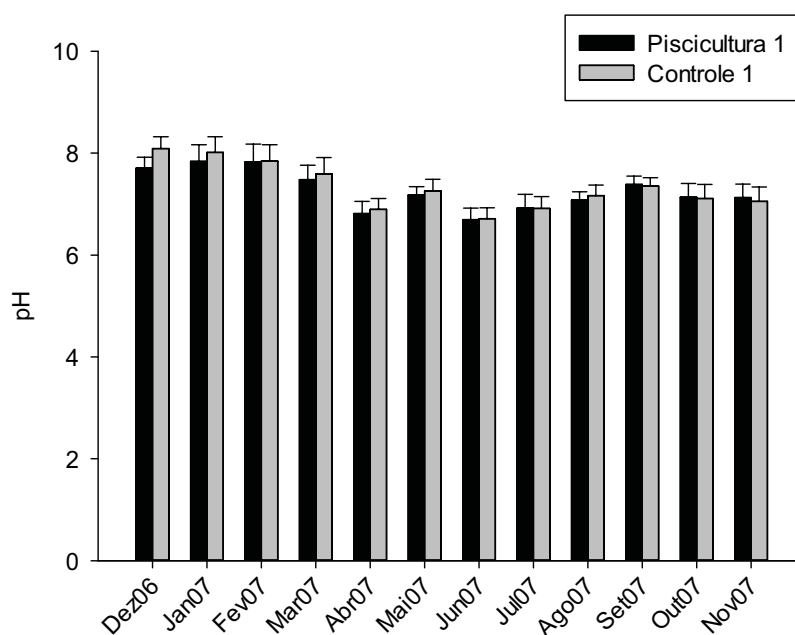


Figura 23. Variação do pH (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

A figura 24 mostra graficamente a variação mensal dos perfis verticais de pH na piscicultura 1 e no controle 1 durante o período da pesquisa. Nos perfis verticais verificam-se gradientes de pH na coluna d'água dos meses mais quentes, com menores valores no hipolímnio, mas com pequena amplitude de variação entre superfície e fundo. Nos meses de jun/07 a set/07, os perfis mostraram-se mais homogêneos. Quando comparadas as áreas com e sem piscicultura, observaram-se valores mais ácidos na coluna d'água da área com

piscicultura nos meses de fev/07 e mai/07, mas com pequena amplitude de variação entre as mesmas.

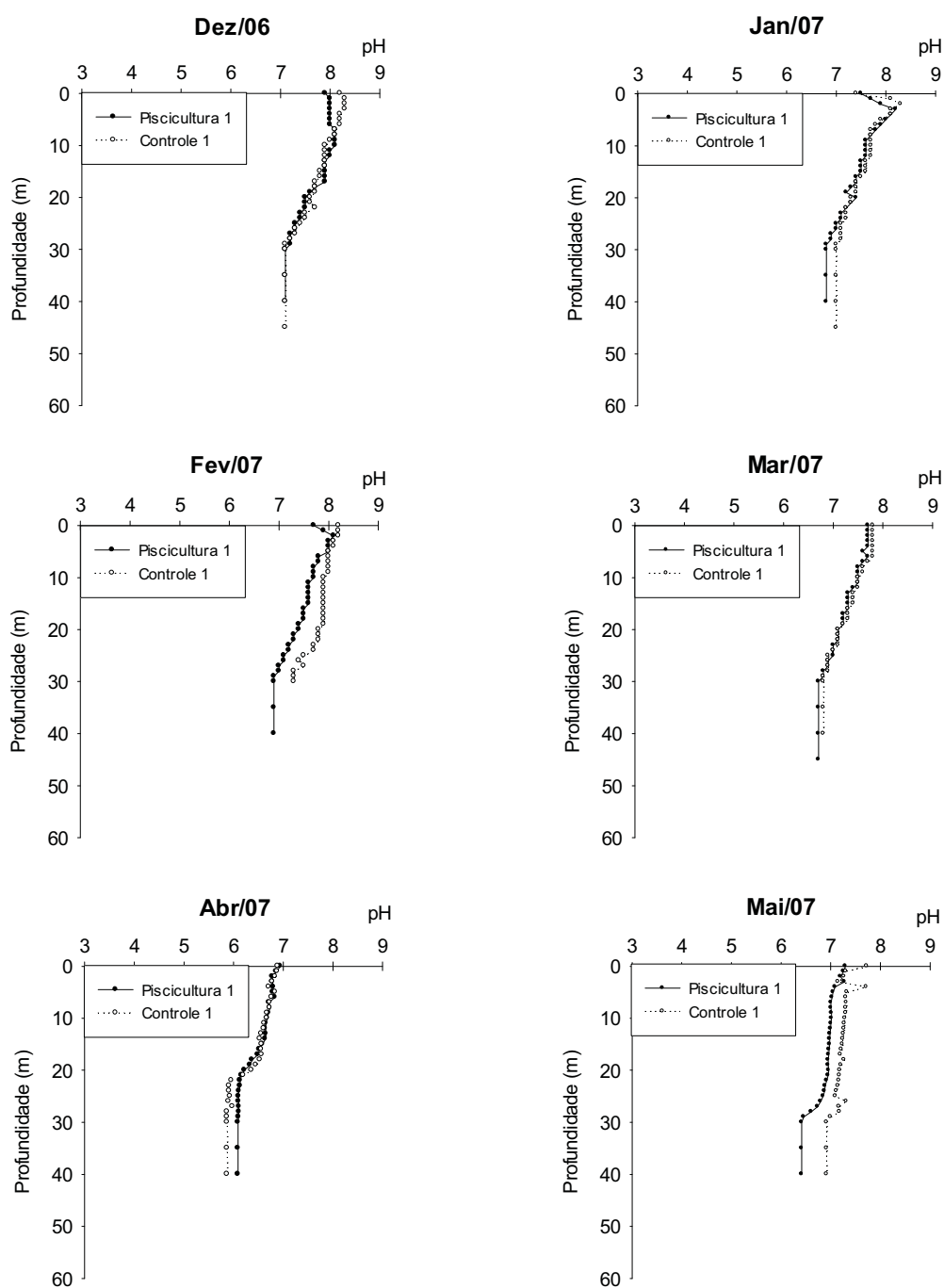


Figura 24. Variação dos perfis verticais de pH na piscicultura 1 e no controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

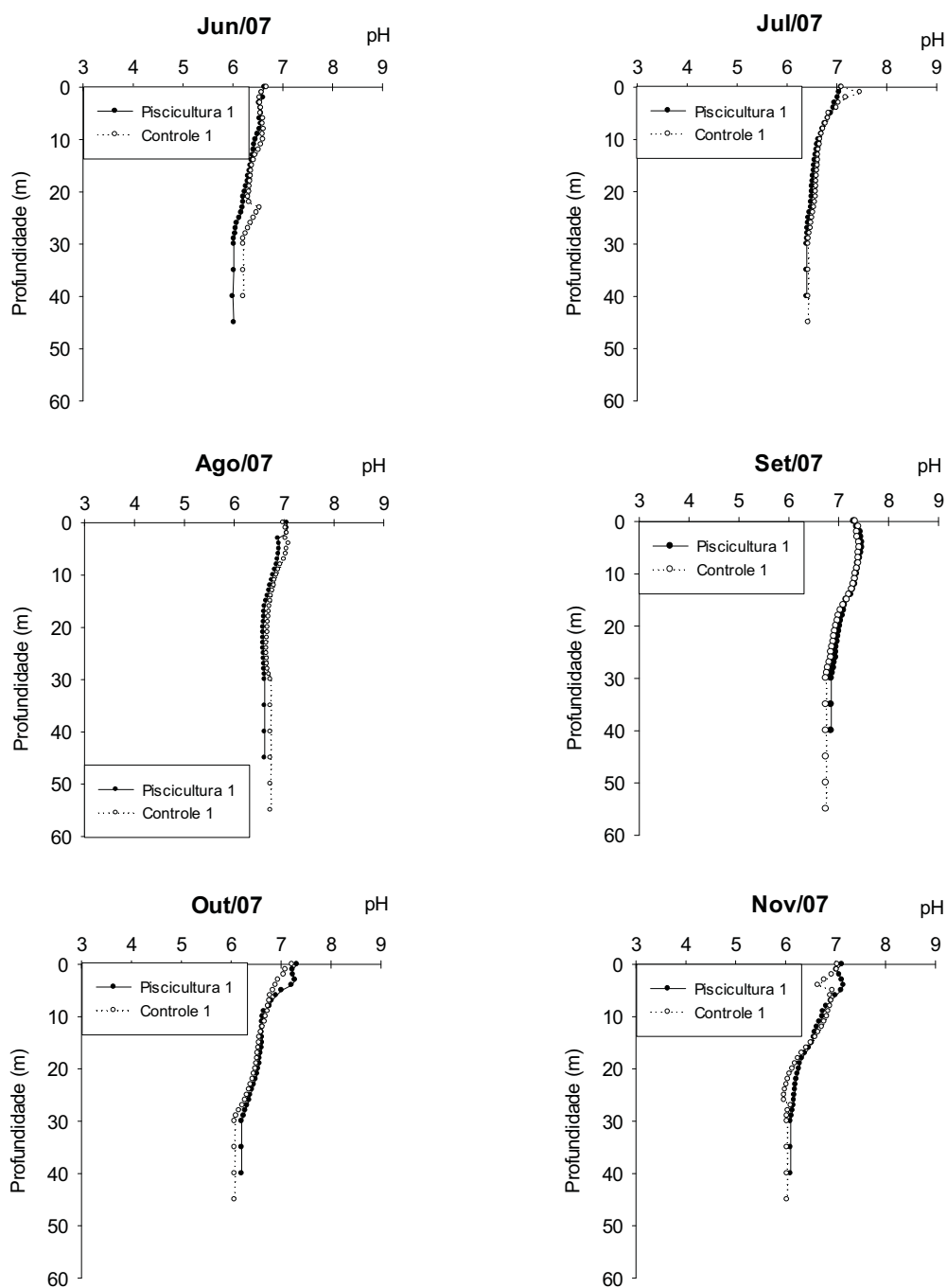


Figura 24. Continuação...

Condutividade elétrica

A condutividade elétrica na piscicultura 1 variou de $61,9 \mu\text{S cm}^{-1}$, no mês de fev/07 (fundo) a $33,9 \mu\text{S cm}^{-1}$, no mês de dez/06 (superfície), portanto com

uma amplitude de $28 \mu\text{S cm}^{-1}$. No controle 1, o maior valor ($64,1 \mu\text{S cm}^{-1}$) foi verificado no mês de fev/07 (fundo), enquanto que, o valor mínimo ($39,1 \mu\text{S cm}^{-1}$) foi observado no mês de mai/07 (superfície), demonstrando uma amplitude de $25 \mu\text{S cm}^{-1}$. De uma maneira geral, os maiores valores ocorreram no fundo da coluna d'água, mas com pequena amplitude de variação entre superfície e fundo, considerando-se o mesmo ponto amostral.

A figura 25 mostra graficamente a variação mensal comparativa da condutividade elétrica na piscicultura1 e no controle 1 durante o período analisado. Na piscicultura 1, nos meses de ago/07 e jul/07, foram obtidos valores médios de condutividade acima de $50 \mu\text{S cm}^{-1}$, ao passo que, no controle 1, esses valores ocorreram nos meses de ago/07 e nov/07. As menores médias de condutividade foram verificadas entre os meses de mar/07 a jun/07 e em dez/06, em ambas as áreas.

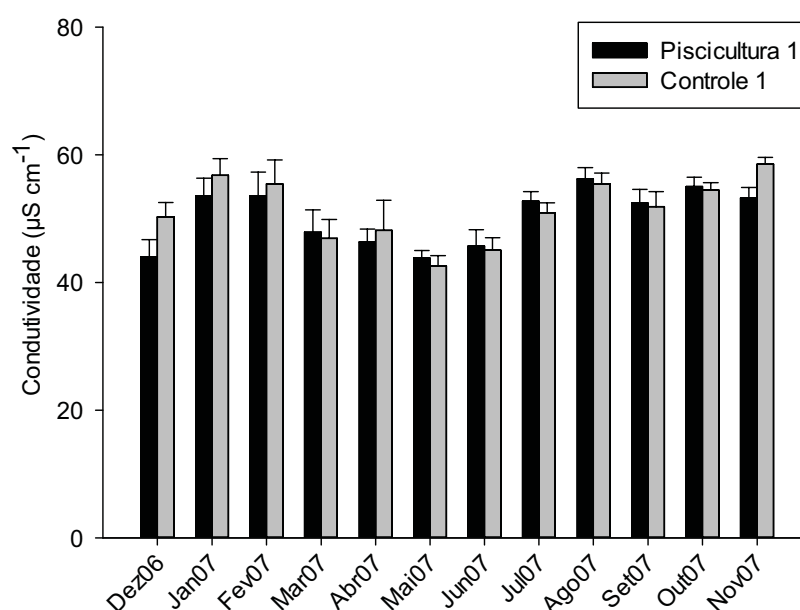


Figura 25. Variação da condutividade elétrica (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

A figura 26 mostra graficamente a variação mensal dos perfis verticais da condutividade elétrica na piscicultura 1 e no controle 1, durante o período analisado. Os valores de condutividade elétrica mostraram-se mais homogêneos na coluna d'água, com pequena amplitude de variação entre superfície e fundo, mas com predominância de maiores valores no hipolímnio.

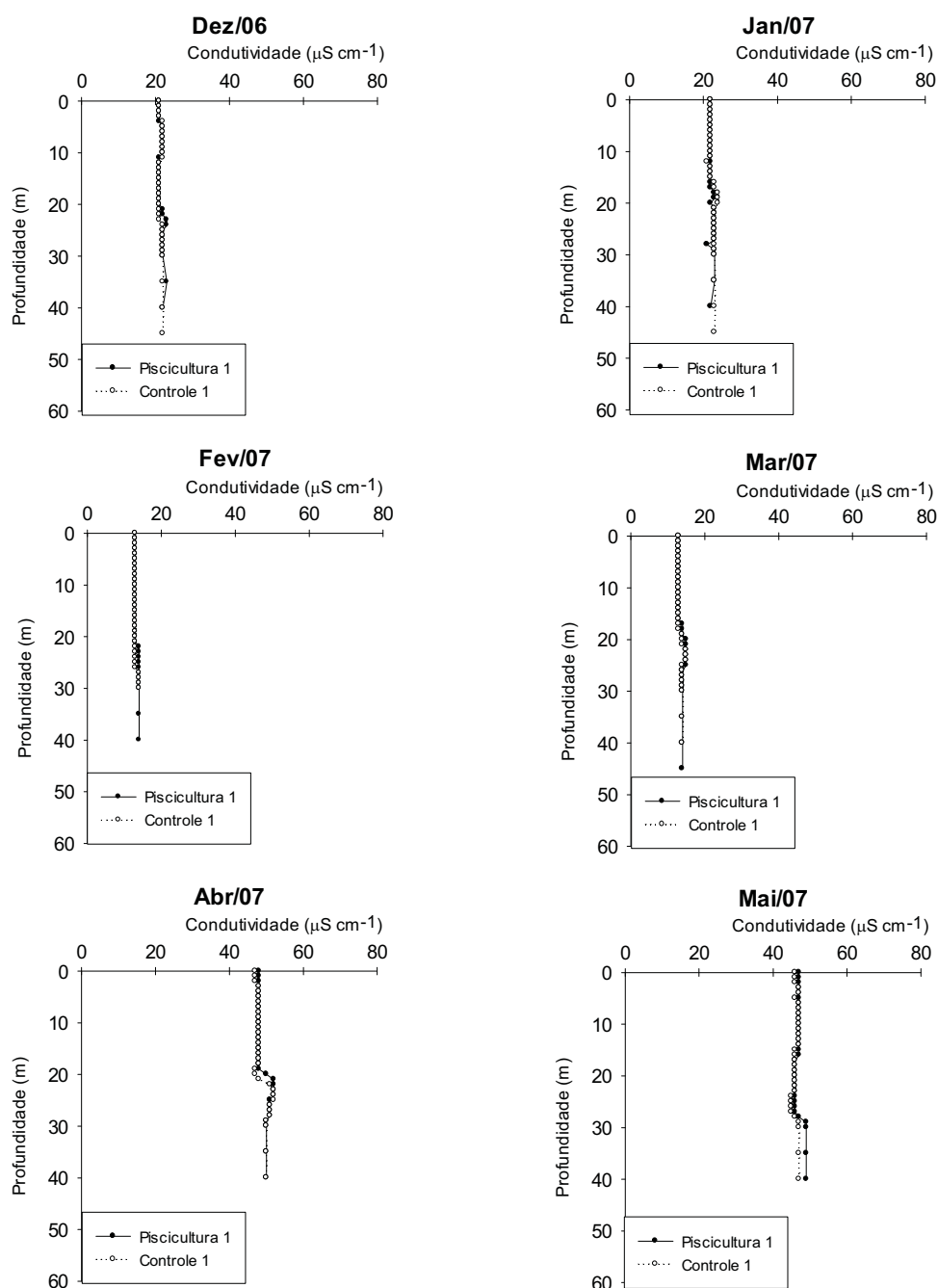


Figura 26. Variação dos perfis verticais de condutividade elétrica na piscicultura 1 e no controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

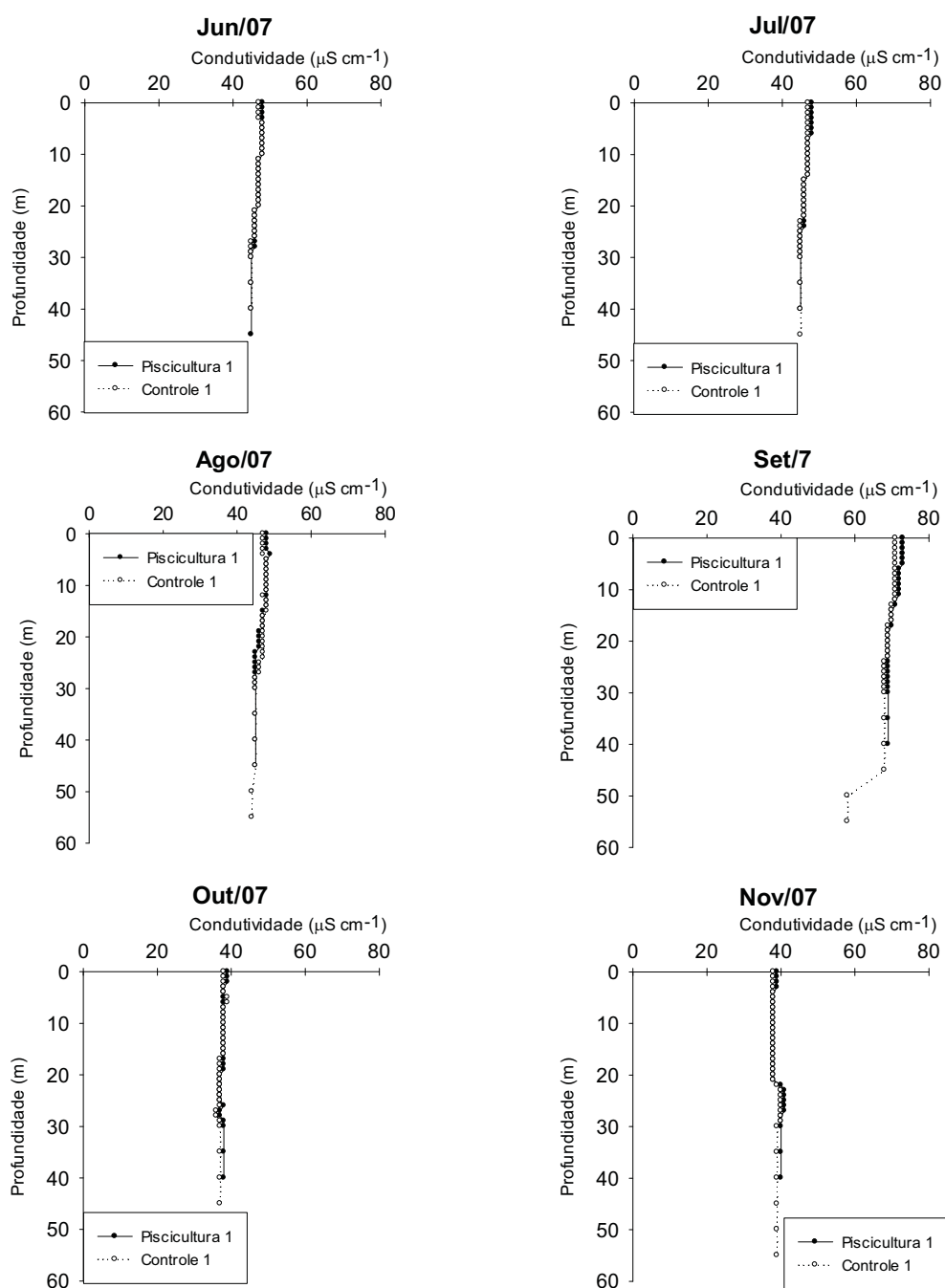


Figura 26. Continuação...

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

O máximo valor de DBO observado na piscicultura 1 foi 8 mg L^{-1} , no mês de fev/07 (meio e fundo), e no controle 1 foi 7 mg L^{-1} , nos meses de jan/07 (meio) e mar/07 (fundo). A DBO, considerando-se as duas áreas, esteve abaixo do limite

de detecção do método (1 mg L^{-1}) em mais de 74% das amostras entre mai/07 a nov/07.

A figura 27 mostra graficamente a variação mensal da DBO na piscicultura 1 e no controle 1 durante o período da pesquisa. Os maiores valores médios de DBO, em ambas as áreas, foram observados de dez/06 a abr/07. Também, no mês de jun/07, observou-se elevação dos valores de DBO.

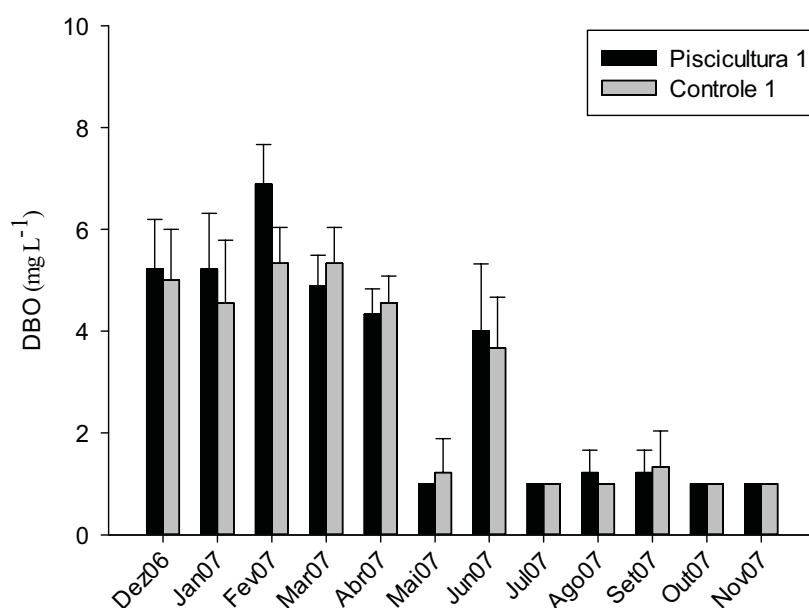


Figura 27. Variação da demanda bioquímica de oxigênio – DBO (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Transparência da água

As medidas de transparência na piscicultura 1 variaram entre 1,3 m e 5,8 m, enquanto no controle 1 essa variação foi de 1,5 m a 4,4 m. Os maiores valores de transparência (maior ou igual a 4 m) foram verificados no período seco, entre os meses de mai/07 a set/07.

Na figura 28, que mostra graficamente a variação da transparência da água na piscicultura 1 e no controle 1 durante o período de estudo, verifica-se que os menores valores (menor ou igual a 3 m) ocorreram no período chuvoso, entre os meses de dez/06 e fev/07.

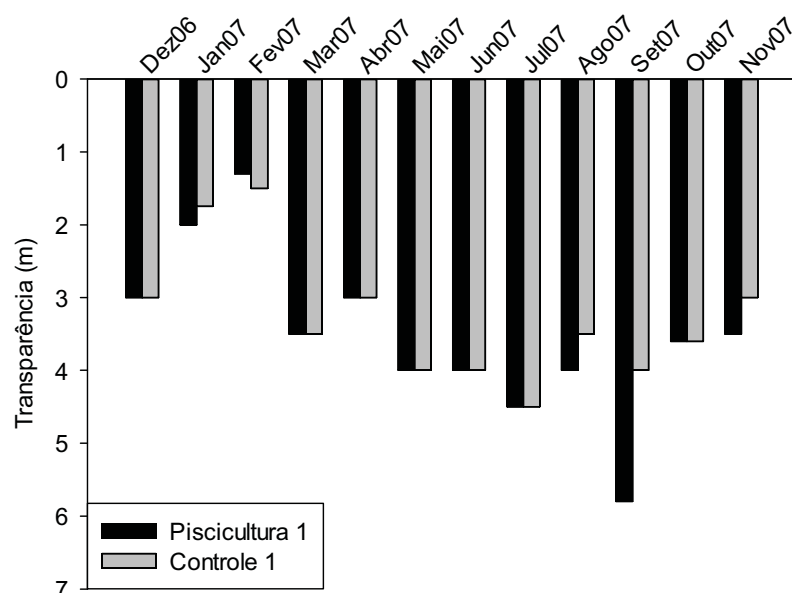


Figura 28. Variação mensal dos valores de transparência da água na piscicultura 1 e no controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Turbidez

A turbidez na piscicultura 1 variou de 16,9 UNT, no mês de fev/07 (fundo), a 0,53 UNT, no mês de jul/07 (superfície). O maior valor de turbidez no controle 1 (15,0 UNT) foi verificado no mês de jan/07 (meio), enquanto que o menor valor (0,64 UNT) foi observado no mês de jul/07 (superfície). De uma maneira geral, os maiores valores de turbidez foram verificados no fundo da coluna d'água, provavelmente devido à suspensão de sedimentos.

A figura 29 apresenta graficamente a comparação entre a variação mensal da turbidez na piscicultura 1 e no controle 1 durante o período da pesquisa. Os

maiores valores médios de turbidez foram observados no período chuvoso, entre dez/06 e mar/07 e os menores no mês jul/07, em ambas as áreas.

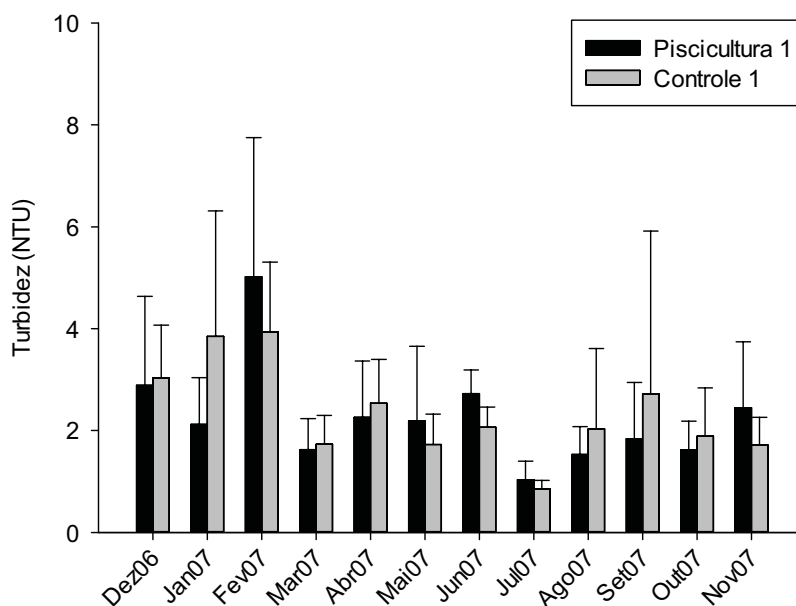


Figura 29. Variação da turbidez (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Sólidos totais dissolvidos (STD)

A concentração de STD na piscicultura 1 variou entre 7,15 mg L⁻¹ no mês de jun/06 (meio) e 2,64 mg L⁻¹ no mês abr/07 (superfície). Já, o maior valor no controle 1 (4,82 mg L⁻¹) foi verificado no mês de nov/07 (meio) e o menor (2,53 mg L⁻¹) no mês de abr/07 (meio).

A figura 30 mostra graficamente a variação mensal das concentrações de STD na piscicultura 1 e no controle 1 durante o período da pesquisa. Não se observou um padrão para a variação entre os meses, mas na maior parte do período analisado verificaram-se valores médios maiores na área com piscicultura.

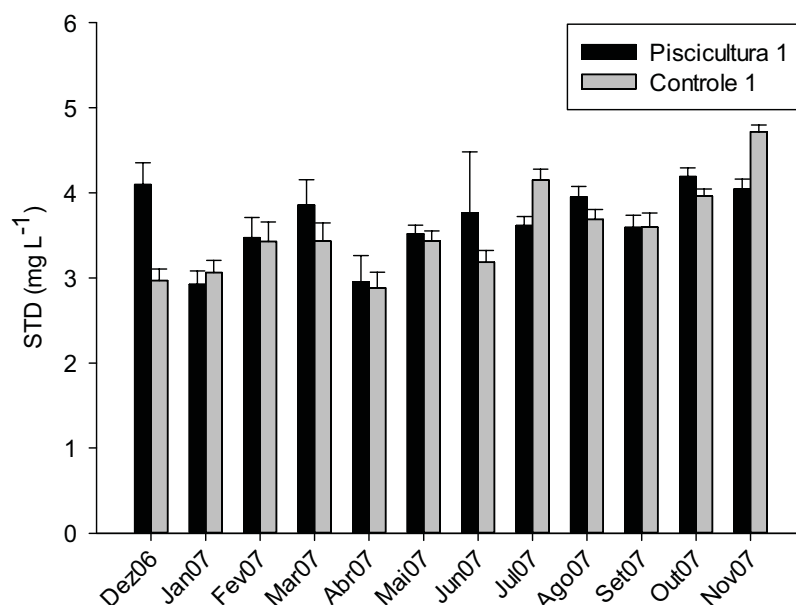


Figura 30. Variação da concentração de sólidos totais dissolvidos – STD (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Clorofila a

A concentração de clorofila *a* na piscicultura 1 variou entre 8,72 $\mu\text{g L}^{-1}$, no mês de dez/06 (meio), e 0,09 $\mu\text{g L}^{-1}$, no mês de jun/07 (fundo). Por sua vez, o maior valor no controle 1 (4,87 $\mu\text{g L}^{-1}$) foi verificado no mês de mar/07 (fundo) e o menor (0,11 $\mu\text{g L}^{-1}$) nos meses de abr/07 (fundo), ago/07 (fundo) e nov/07 (superfície).

A figura 31 mostra graficamente a comparação entre a variação mensal de clorofila *a* na piscicultura 1 e no controle 1 durante o período analisado. No período chuvoso, entre dez/06 a mar/07, verificaram-se os maiores valores médios e grande variabilidade dos dados, em ambas as áreas, provavelmente em função da maior insolação e das chuvas. Os menores valores médios na piscicultura 1 foram registrados nos meses de nov/07 e ago/07, enquanto no controle 1, esses valores ocorreram nos meses de ago/07 e mai/07.

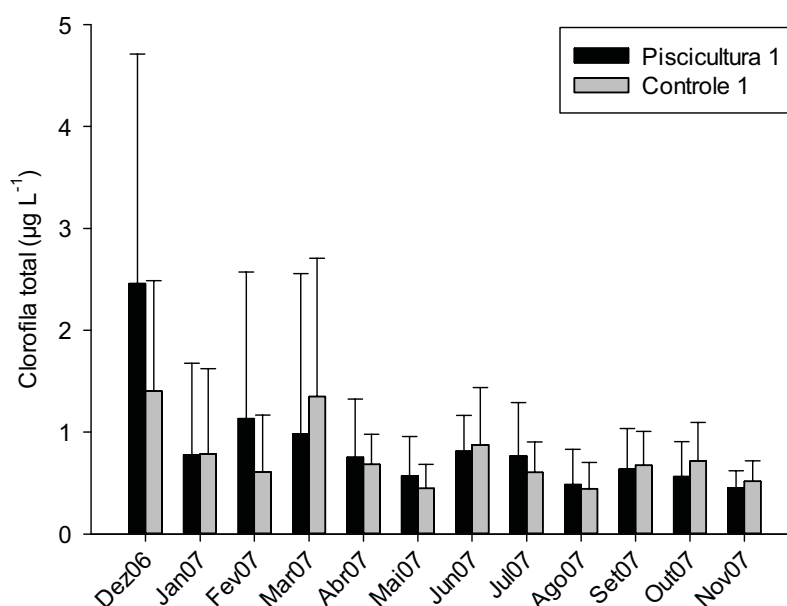


Figura 31. Variação da concentração de clorofila *a* (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Coliformes termotolerantes

A quantidade de coliformes termotolerantes variou entre 1600 NMP 100mL⁻¹ e 2 NMP 100mL⁻¹, tanto na piscicultura 1, quanto no controle 1. Valores máximos foram observados nos meses de dez/06 e fev/07, em ambas as áreas. Na piscicultura 1, os valores mínimos foram obtidos nos meses de mai/07, set/07 e jun/07, sendo que, no controle 1 esses foram verificados de mai/07 a jun/07 e de ago/07 a set/07.

A figura 32 apresenta graficamente a variação mensal do número de coliformes termotolerantes na piscicultura 1 e no controle 1 durante o período do estudo. Da mesma forma, os maiores valores médios ocorreram no período chuvoso, entre os meses de dez/06 e fev/07, em ambas as áreas, quando também se observou grande variabilidade dos dados. No restante do período foram observados valores mais baixos e próximos entre si.

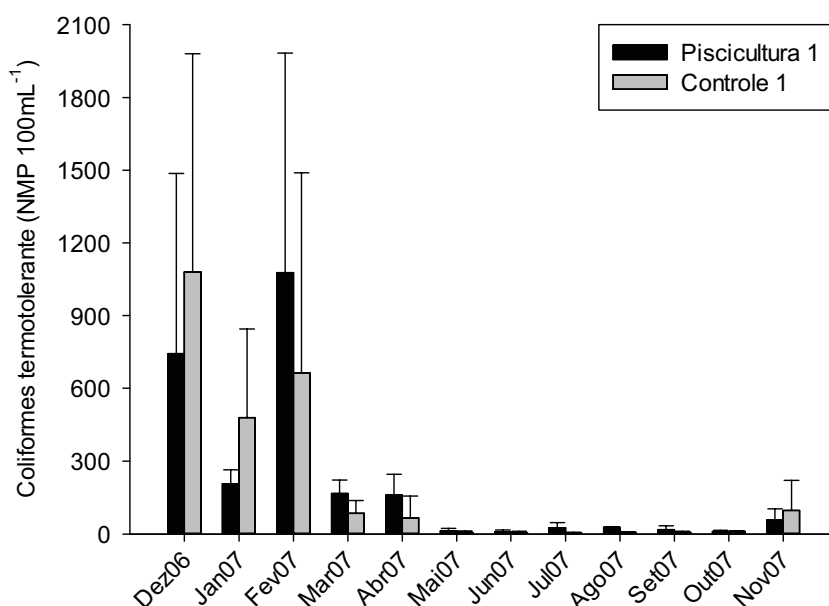


Figura 32. Variação da quantidade de coliformes termotolerantes (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Fósforo total (PT)

A concentração de PT na piscicultura 1 variou de $59 \mu\text{g L}^{-1}$, em mar/07 (fundo) até $13 \mu\text{g L}^{-1}$, no mês de set/07 (fundo). No controle 1 a variação foi de $65 \mu\text{g L}^{-1}$, no mês mai/07 (fundo), a $14 \mu\text{g L}^{-1}$, no mês de set/07 (meio).

A figura 33 apresenta graficamente a comparação entre a variação mensal do fósforo total (PT) na piscicultura 1 e no controle 1, durante o período analisado. Não se observou um aumento sistemático para as concentrações de PT nas áreas com piscicultura.

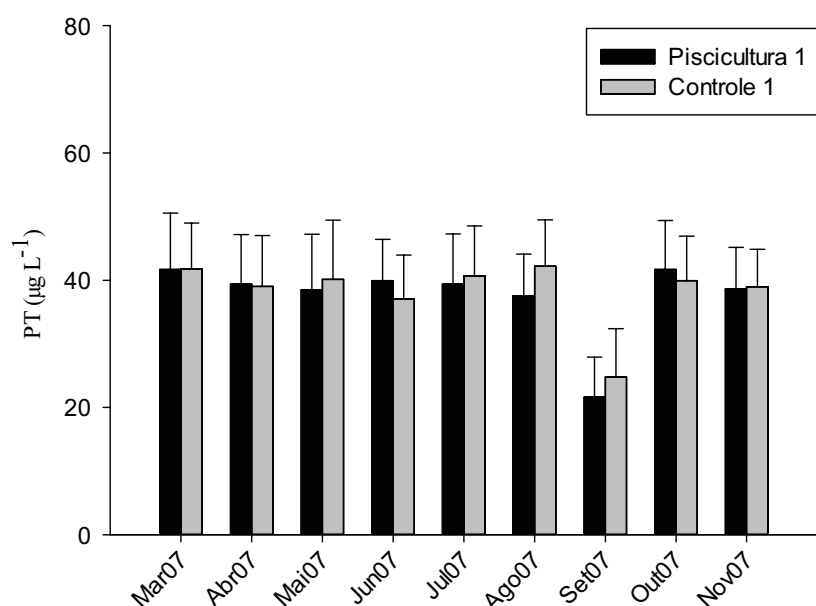


Figura 33. Variação da concentração de fósforo total - PT (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de mar/07 a nov/07.

Nitrogênio orgânico total (NOT)

A concentração de NOT na piscicultura 1 variou entre 630 $\mu\text{g L}^{-1}$, no mês de jan/07 (meio), e 20 $\mu\text{g L}^{-1}$, no mês de fev/07 (fundo). Já, no controle 1, os valores variaram de 700 $\mu\text{g L}^{-1}$, no mês de jan/07 (meio), até 20 $\mu\text{g L}^{-1}$, em jan/07 (nas três profundidades) e em fev/07 (superfície e meio).

A Figura 34 apresenta graficamente a comparação entre a variação mensal da concentração de NOT na piscicultura 1 e no controle 1, durante o período analisado. Nos três primeiros meses, verificou-se grande variabilidade dos resultados de NOT, que pode ter sido decorrente da maior incidência de chuva, mas deve-se considerar a adequação da metodologia analítica laboratorial. Dessa forma, o maior valor médio de NOT foi observado na piscicultura 1 e no controle 1, respectivamente, no mês de dez/06 e no mês de jan/07, seguido por marcante

diminuição no mês de fev/07. No restante do período, de uma maneira geral, as médias na piscicultura 1 e no controle 1 foram próximas entre si.

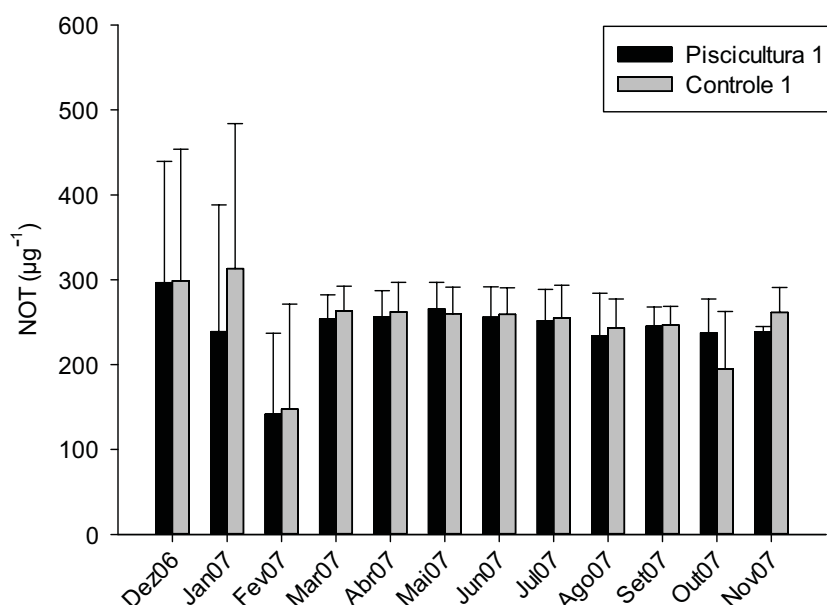


Figura 34. Variação da concentração de nitrogênio orgânico total – NOT (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 1 e do controle 1, no compartimento lacustre do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

6.2.2. Compartimento de transição (piscicultura 2 e controle 2)

Temperatura da água

Os maiores valores de temperatura foram registrados na superfície, enquanto os menores valores foram verificados no hipolímnio dos pontos amostrais com maior profundidade, como esperado. A temperatura da água na piscicultura 2 variou de 29,1 °C, no mês de mar/07 a 18,6 °C, no mês de ago/07. No controle 2 essa variação foi de 28,0 °C, no mês de fev/07, e 18,5 °C, no mês de ago/07 (fundo).

A figura 35 apresenta graficamente a comparação da variação mensal da temperatura da água na piscicultura 2 e no controle 2 durante o período analisado. Nos meses de dez/06 e abr/07, foram registradas médias de temperatura acima de 24,7 °C, ao passo que, médias abaixo de 22,1 °C foram verificadas entre os meses de mai/07 a set/07, em ambas as áreas.

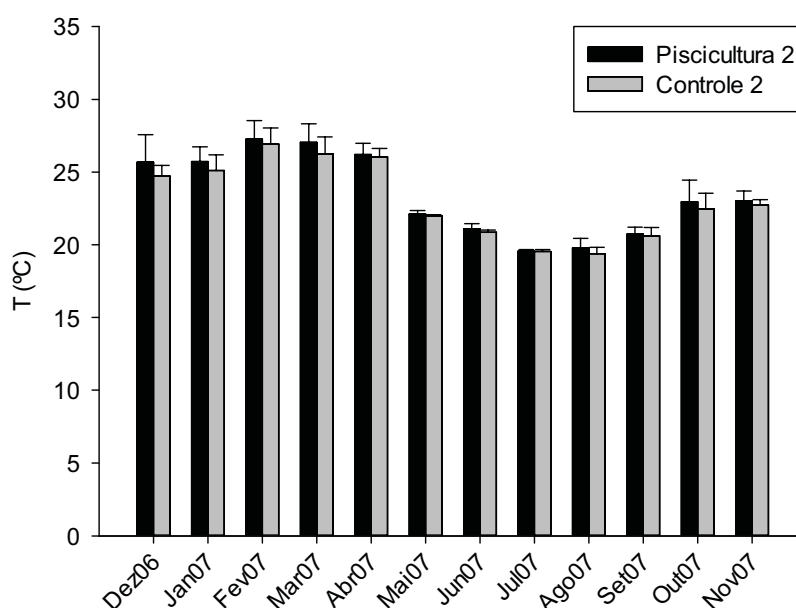


Figura 35. Variação da temperatura da água (média e desvio-padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

A figura 36 mostra graficamente a variação mensal dos perfis verticais da temperatura da água na piscicultura 2 e no controle 2, durante o período de estudo. Nesse compartimento foram observados gradientes de temperatura na coluna d'água, com pequena amplitude de variação entre a superfície e o fundo, os quais foram mais evidentes nos meses de dez/06, fev/07 e mar/07. De um modo geral, as temperaturas da superfície alcançaram vários metros de profundidade, com isotermia de toda a coluna d'água nos meses de mai/07, jun/07 e jul/07.

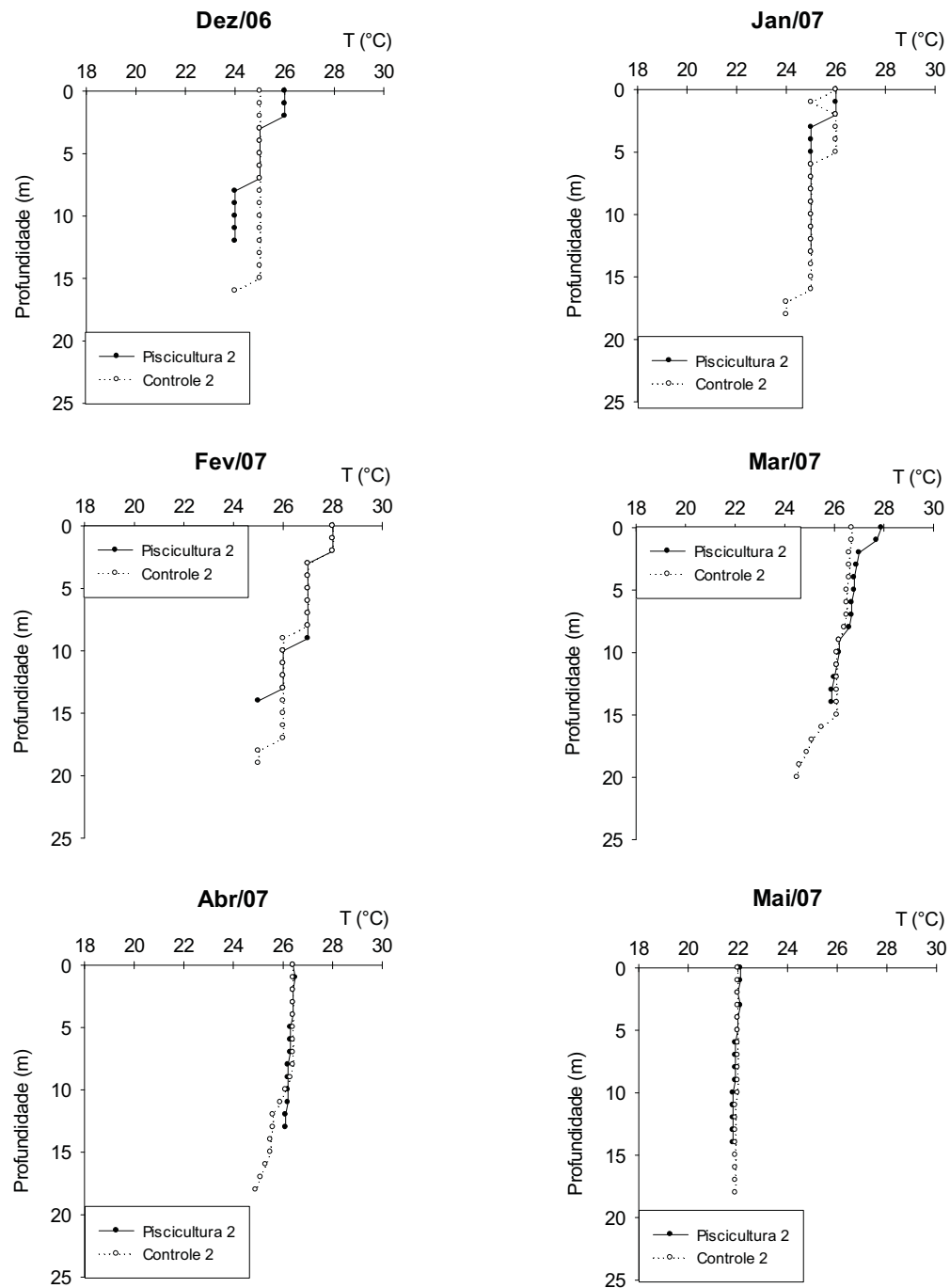


Figura 36. Variação dos perfis verticais da temperatura da água na piscicultura 2 e no controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

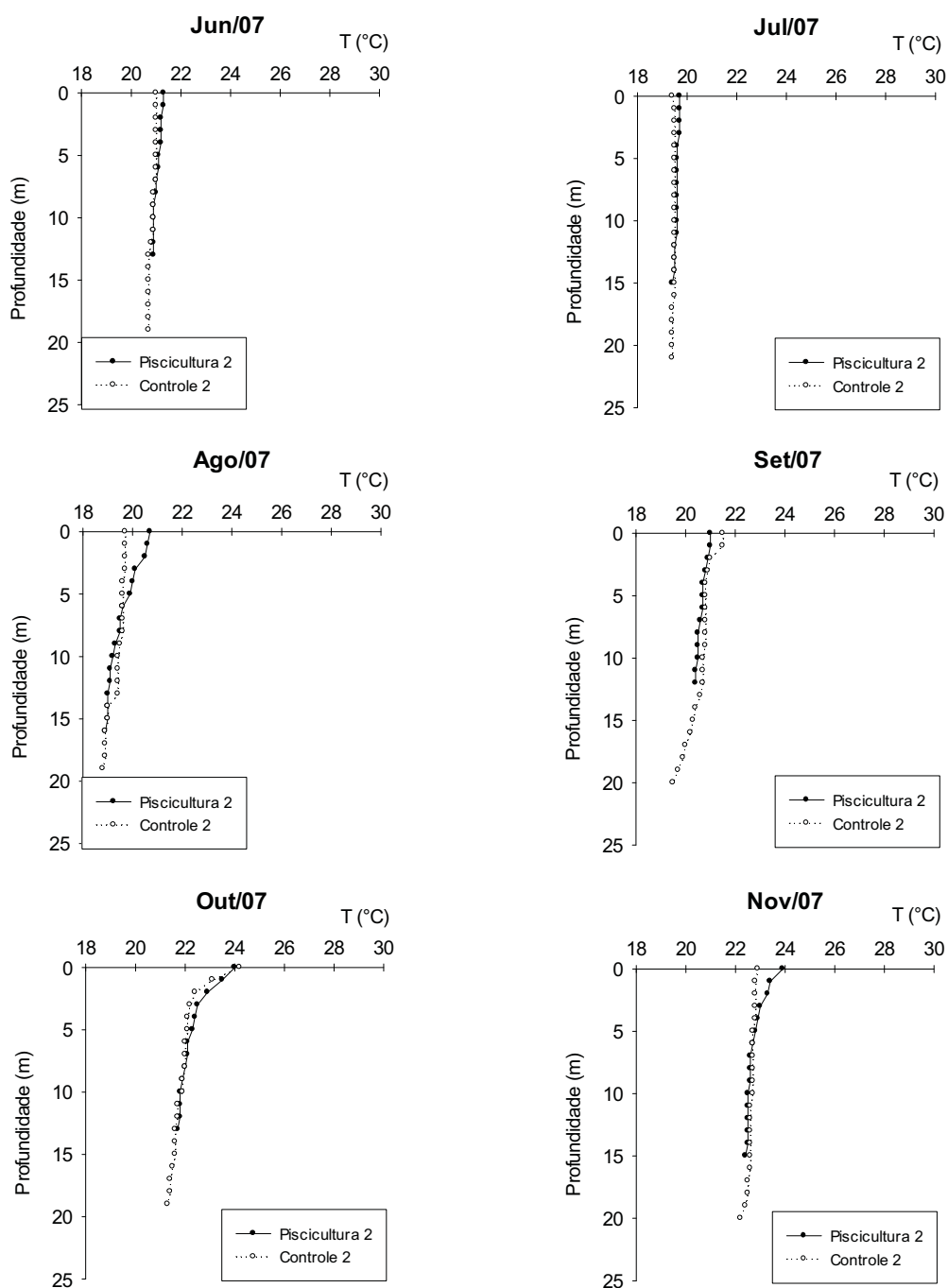


Figura 36. Continuação...

Oxigênio dissolvido (OD)

As maiores concentrações de OD foram registradas na superfície e as menores nas amostragens do hipolímnio, em ambas as áreas. A concentração de

OD na piscicultura 2 variou entre $9,42 \text{ mg L}^{-1}$ a $1,98 \text{ mg L}^{-1}$, no mês de ago/07. Por sua vez, no controle 2, a variação foi de $9,69 \text{ mg L}^{-1}$, no mês de ago/07 a $1,44 \text{ mg L}^{-1}$, no mês de abr/07, no fundo do ponto amostral 7 (P7), onde foi registrada a profundidade de 23,0 m.

A figura 37 apresenta graficamente a comparação da variação mensal de OD na piscicultura 2 e no controle 2, durante o período analisado. De um modo geral, em ambas as áreas os maiores valores médios de OD ocorreram nos meses de jun/07 e jul/07, enquanto os menores foram verificados entre jan/07 e mar/07. Ressalte-se que não foram calculadas as médias do mês de set/07, devido a problemas no eletrôdo do equipamento multissensor. As concentrações mensais médias de OD na piscicultura 1 foram menores comparativamente ao controle 1.

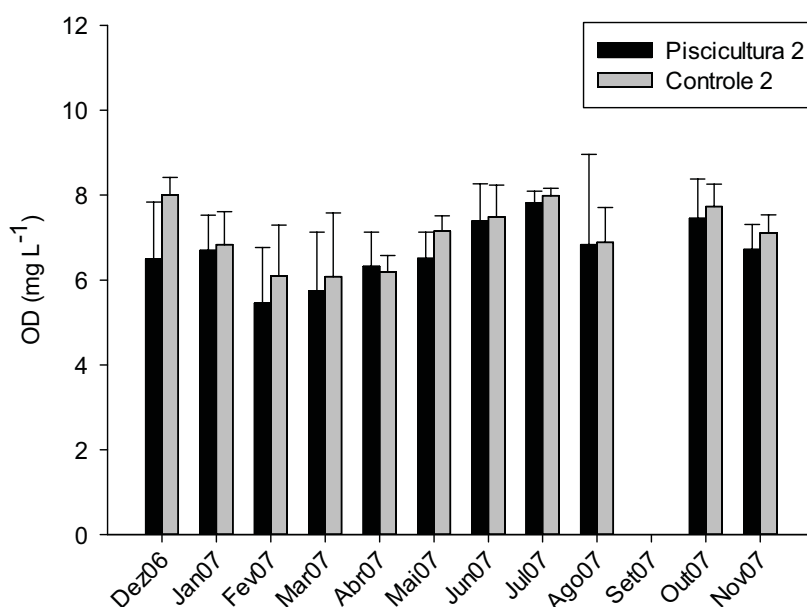


Figura 37. Variação de oxigênio dissolvido OD (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Na figura 38 está representada graficamente a variação mensal dos perfis verticais do OD na piscicultura 2 e controle 2 durante o período da pesquisa.

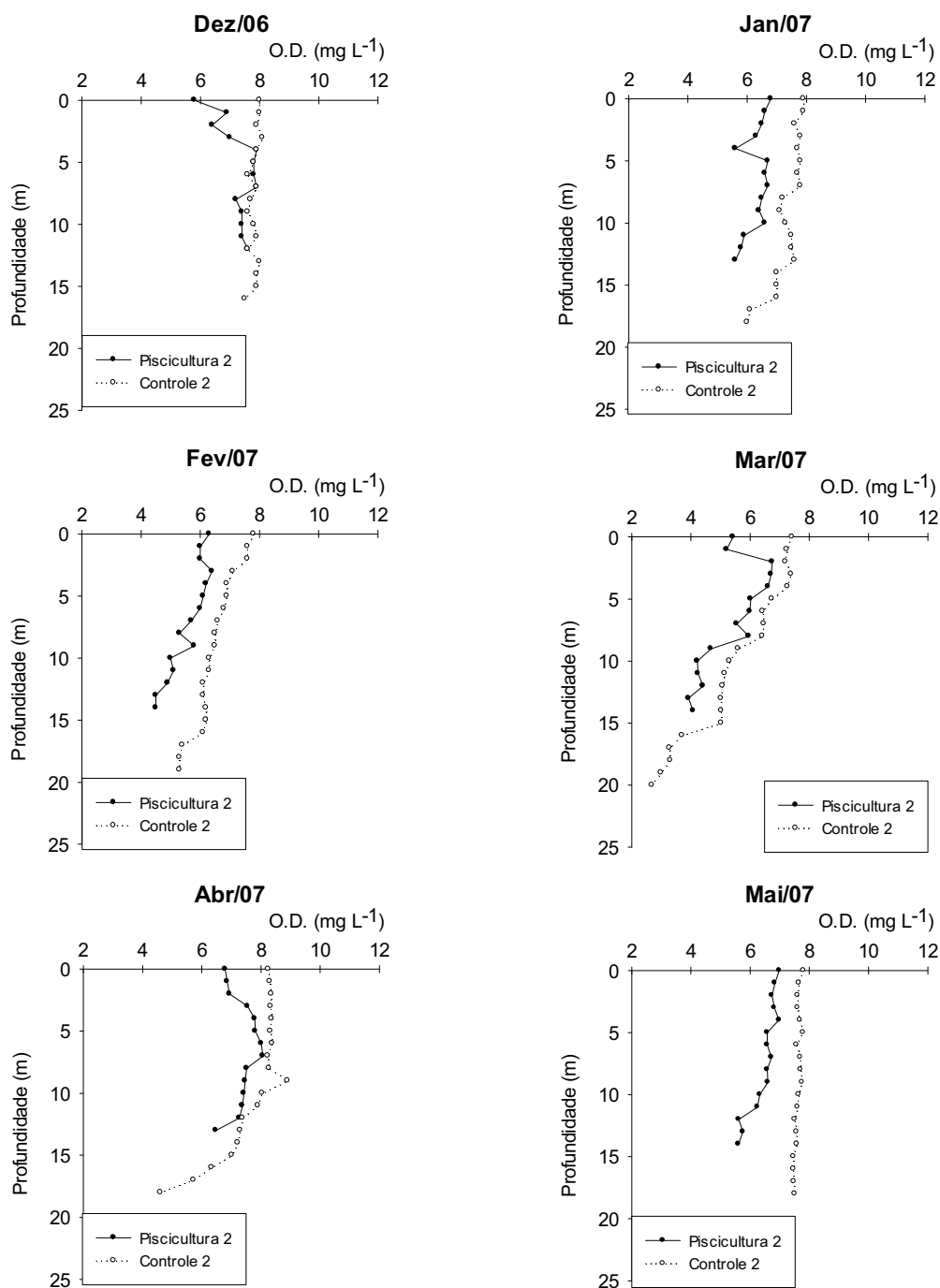


Figura 38. Variação dos perfis verticais do oxigênio dissolvido (OD) na piscicultura 2 e no controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

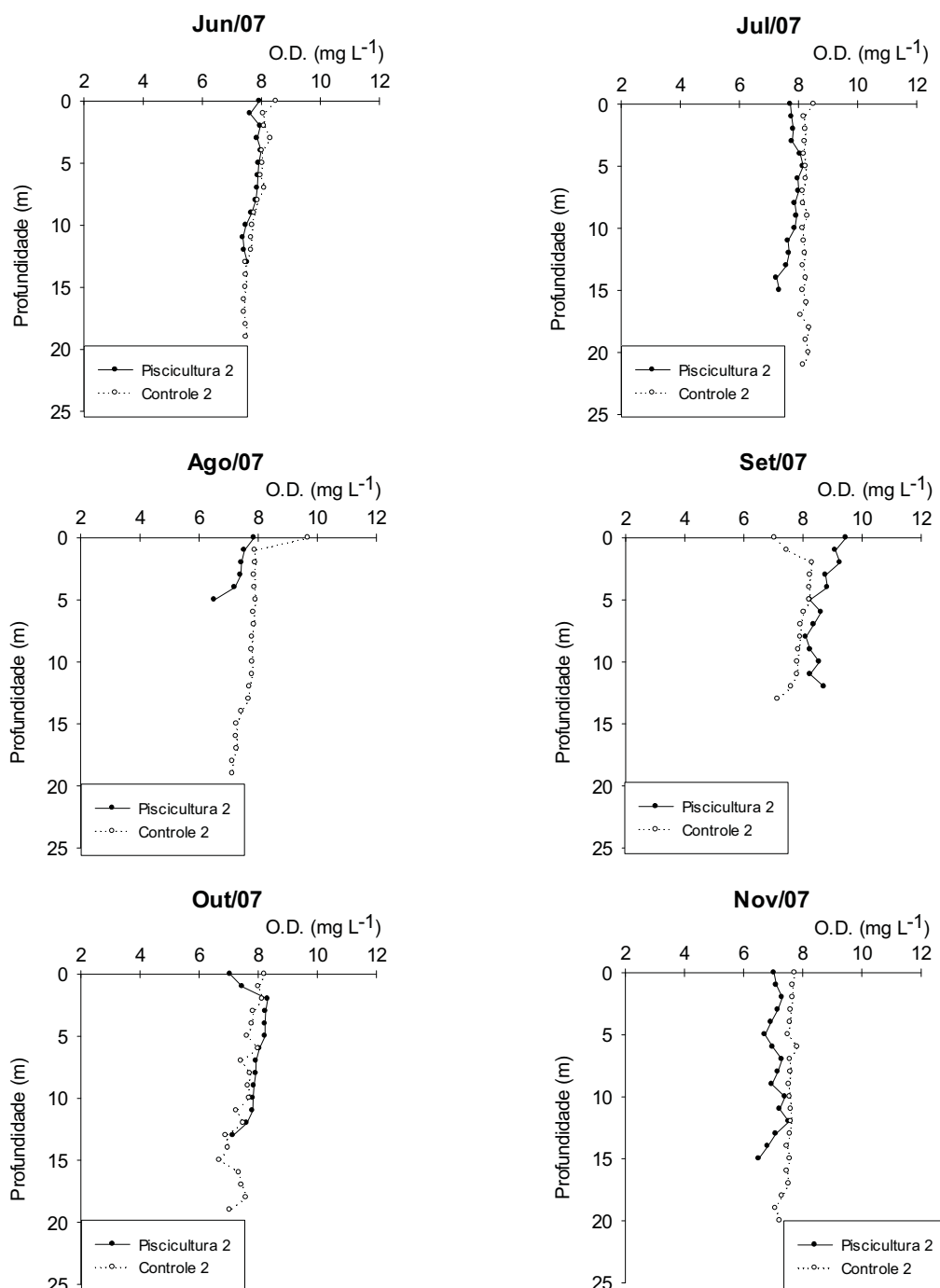


Figura 38. Continuação...

Na maior parte do período, embora não tenha sido verificada uma estratificação pronunciada, observou-se variabilidade da concentração de OD na coluna d'água, com menores valores no fundo. As maiores amplitudes de variação entre a superfície e o fundo da coluna d'água foram observadas entre os meses de jan/07 e abr/07, quando as temperaturas atmosféricas foram mais

elevadas. Também se observou que, de uma maneira geral, as concentrações de OD foram menores ao longo da coluna d'água na piscicultura 2, com maiores gradientes entre essa área e o controle 2, de jan/06 a mai/07.

Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH na piscicultura 2 variou entre 8,4 no mês de dez/06 (meio) e 5,7 no mês de mar/07 (fundo). De outra parte, no controle 2 esta variação foi entre 8,6 no mês de fev/07 (superfície) e 6,18 no mês de mar/07 (fundo). Os menores valores de pH sempre foram observados nas amostragens do hipolímnio.

Na figura 39 é mostrada graficamente a comparação da variação mensal de pH na piscicultura 2 e no controle 2, durante o período de estudo. De um modo geral, em ambas as áreas, os valores médios mais altos de pH foram verificados nos meses com temperaturas mais elevadas, entre dez/06 a fev/07 e set/07 a nov/07, enquanto valores médios menores ocorreram entre mar/07 e jul/07.

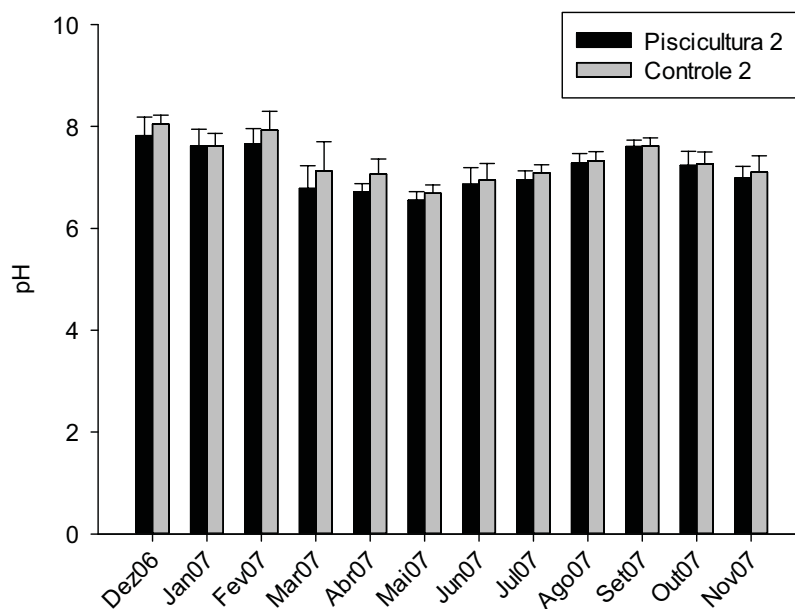


Figura 39. Variação de pH (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

A figura 40 mostra graficamente a variação mensal dos perfis verticais de pH na piscicultura 2 e no controle 2 durante o período da pesquisa.

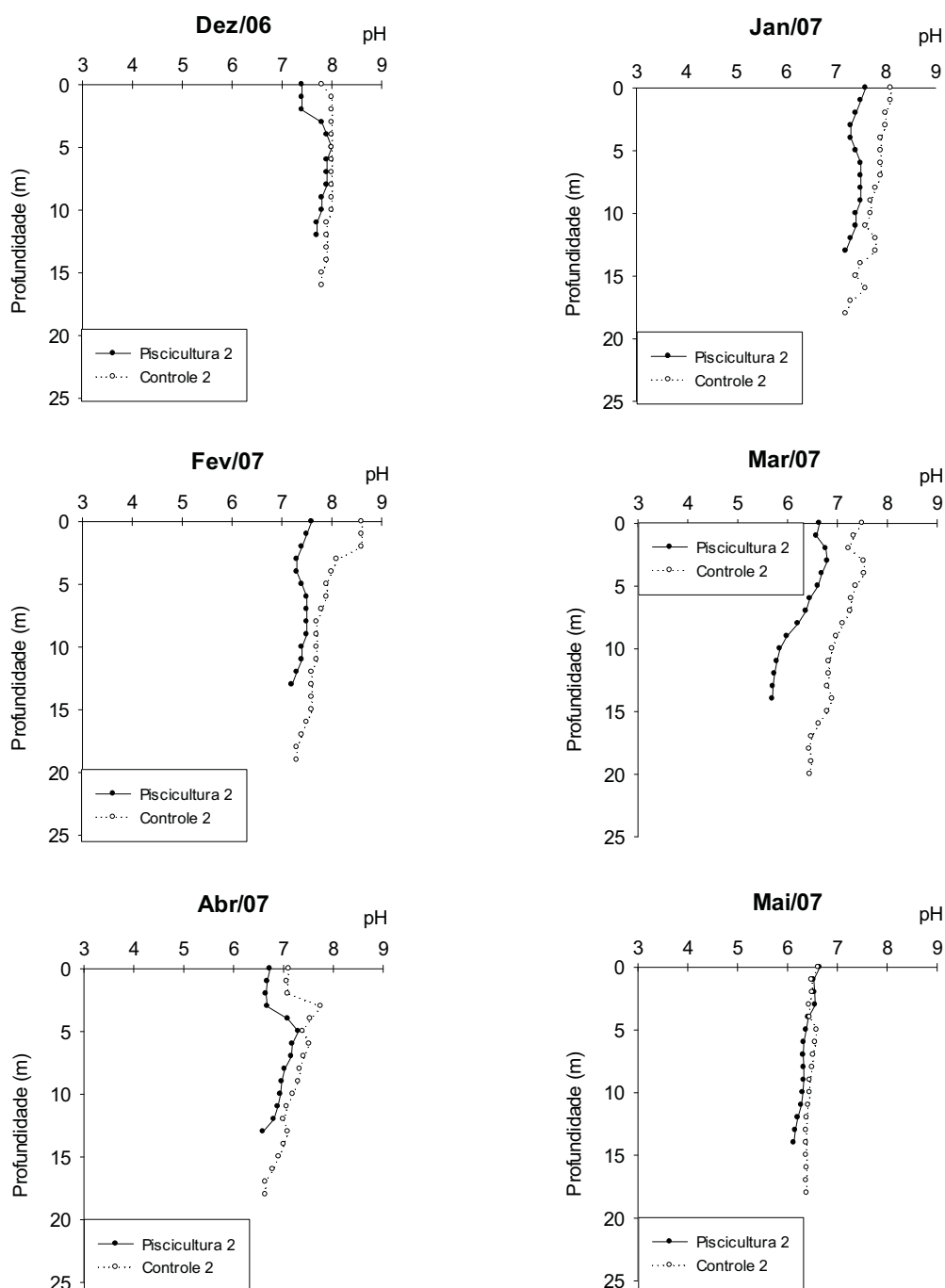


Figura 40. Variação dos perfis verticais de pH na piscicultura 2 e no controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

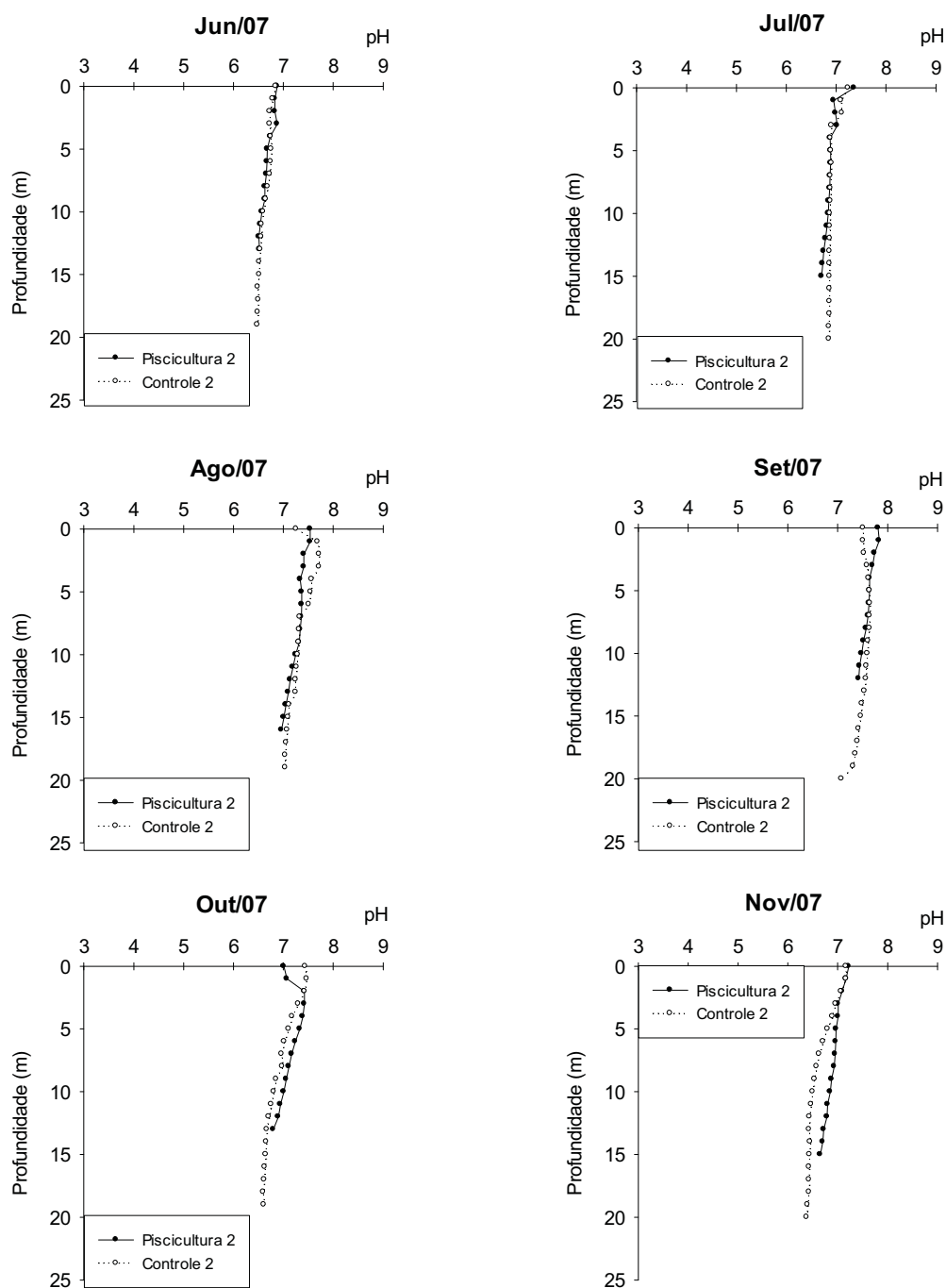


Figura 40. Continuação...

De um modo geral, os resultados mostraram uma pequena redução gradativa do pH com a profundidade e perfis mais ácidos na coluna d'água da área com piscicultura. Entre jan/07 e abr/07, foram observados os maiores gradientes de variação entre a superfície e o fundo da coluna d'água.

Condutividade elétrica

A condutividade na piscicultura 2 variou de $64,4 \mu\text{S cm}^{-1}$, no mês de jan/07 (fundo), até $42,8 \mu\text{S cm}^{-1}$, no mês de mai/07 (superfície). Por sua vez, no controle 2 o maior valor ($64,5 \mu\text{S cm}^{-1}$) foi verificado no mês de ago/07 (meio) e o menor ($42,5 \mu\text{S cm}^{-1}$) no mês de mai/07 (superfície e fundo). Portanto, a amplitude de variação entre os meses foi por volta de $22 \mu\text{S cm}^{-1}$, considerando-se ambas as áreas. Os valores de condutividade elétrica foram próximos entre si, tanto na comparação entre as áreas com e sem piscicultura, quanto entre as diferentes profundidades.

Na figura 41 é mostrada graficamente a variação mensal comparativa de condutividade elétrica na piscicultura 2 e no controle 2 durante o período analisado. Na piscicultura 2 observaram-se valores médios de condutividade acima de $55,5 \mu\text{S cm}^{-1}$ nos meses de jan/07 e ago/07, ao passo que, no controle 2, foram esses valores foram verificados nos meses de ago/07 e dez/06. Também no mês de jun/07 foram observados valores médios mais altos de condutividade. Por outro lado, em ambas as áreas os menores valores médios ocorreram entre fev/07 e mai/07.

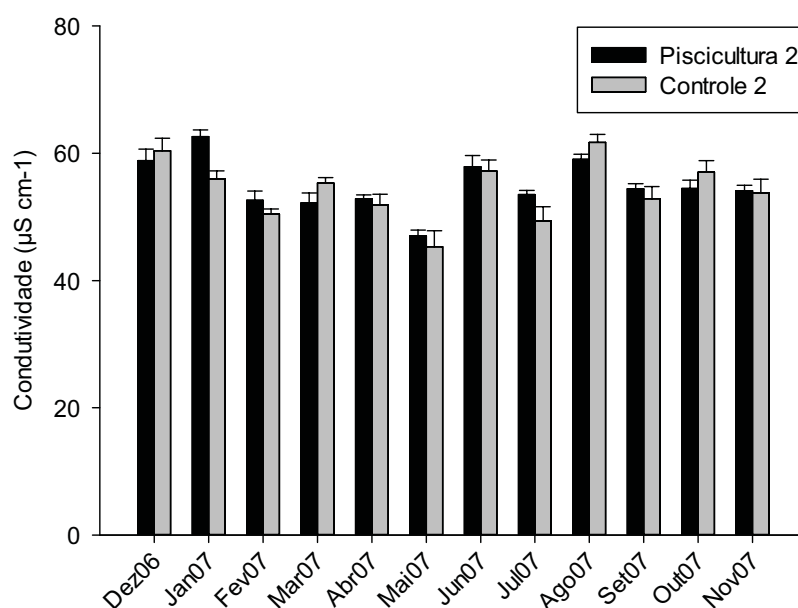


Figura 41. Variação da condutividade elétrica (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

A figura 42 mostra a variação mensal dos perfis verticais da condutividade elétrica na piscicultura 2 e controle 2 durante o período de estudo. De um modo geral, a condutividade apresentou valores homogêneos ao longo da coluna d'água e semelhantes entre as área com e sem piscicultura.

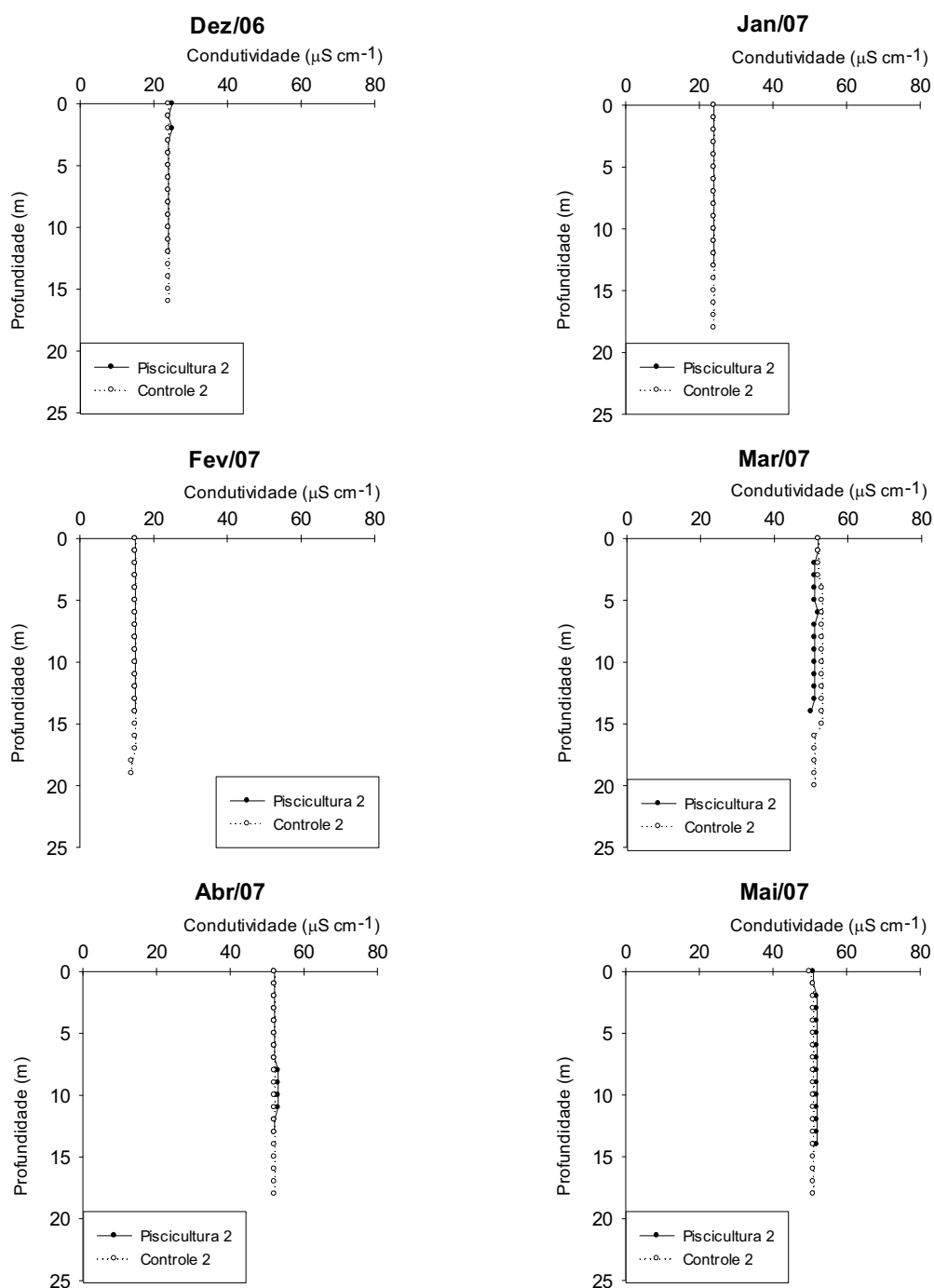


Figura 42. Perfis verticais da condutividade elétrica na piscicultura 2 e no controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

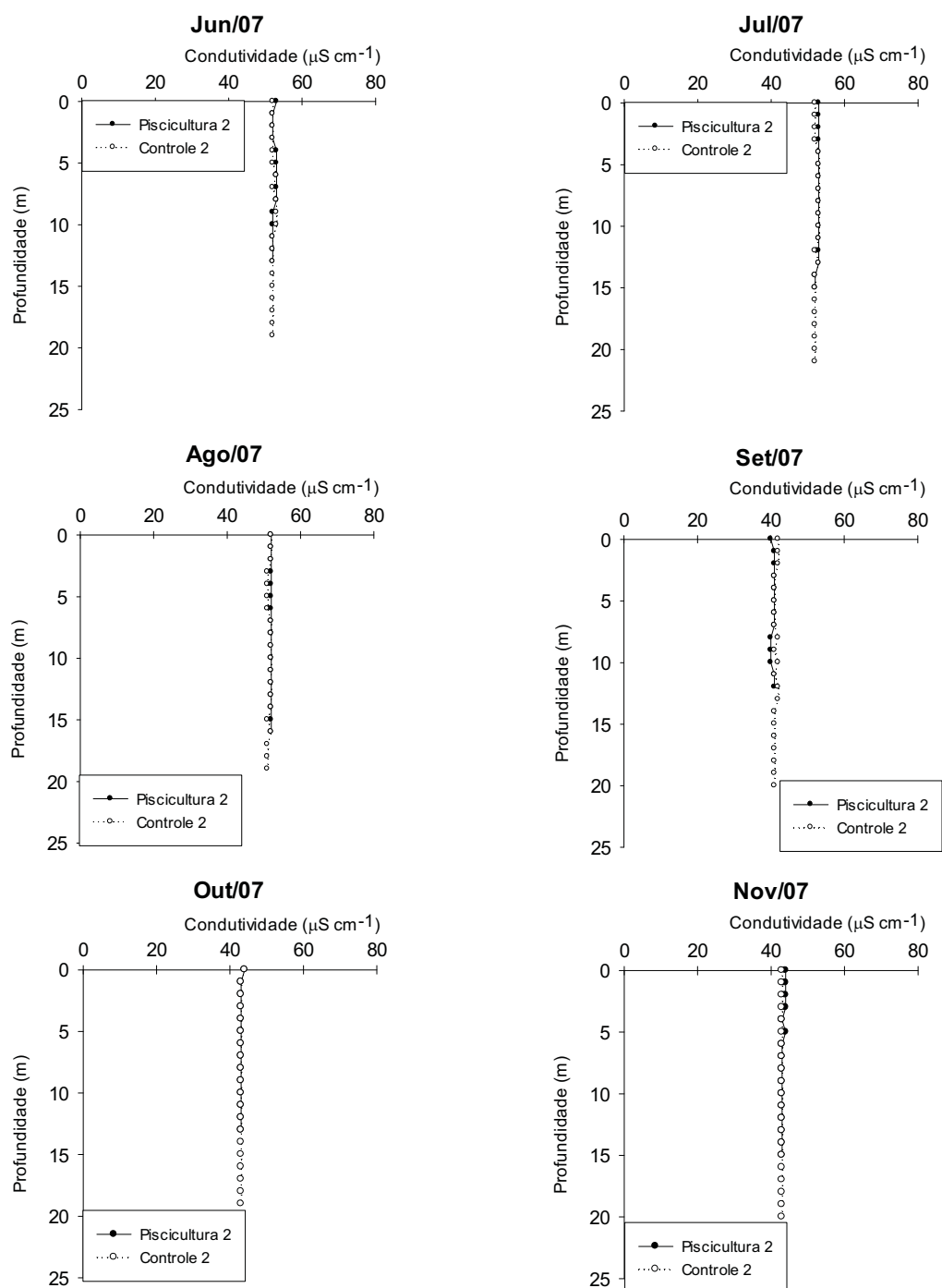


Figura 42. Continuação...

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Os máximos valores de DBO, 8 mg L^{-1} e 7 mg L^{-1} , respectivamente, na piscicultura 2 (fundo) e no controle 2 (superfície), foram obtidos no mês de fev/07.

Por outro lado, foram verificados resultados abaixo do limite de detecção do método (menor que $1,0 \text{ mg L}^{-1}$) na piscicultura 2, em uma amostra no mês de jan/07, em 82,5% das amostras entre os meses de mai/07 a nov/07 e em 79,4% das amostras do controle 2, no mesmo período.

A figura 43 mostra graficamente a variação mensal de DBO na piscicultura 2 e no controle 2, durante o período do estudo. Os maiores valores médios foram observados entre os meses de dez/06 e abr/07, tanto na piscicultura 2, quanto no controle 2.

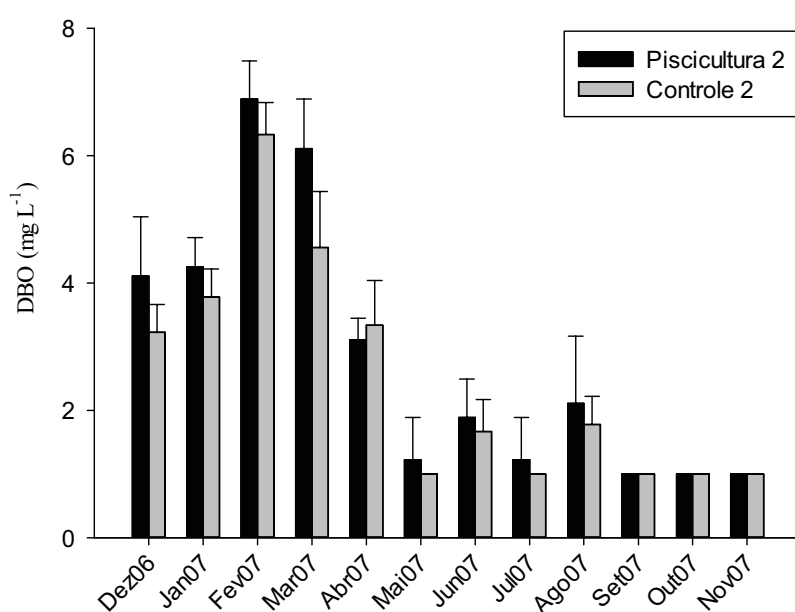


Figura 43. Variação da demanda bioquímica de oxigênio – DBO (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Transparência da água

A menor medida de transparência da água na piscicultura 2 foi de 1,60 m, registrada no mês de dez/06, enquanto que, no controle 2, essa medida foi de 1,75 m, verificada nos meses de dez/06 e jul/07. O maior valor (4 m) foi obtido no mês de jun/07, em ambas as áreas.

A figura 44 mostra graficamente a variação comparativa da transparência da água na piscicultura 2 e no controle 2 durante o período de estudo. De um modo geral, a transparência foi maior no período seco, sendo que no mês de jul/07 as amostragens foram realizadas em dias chuvosos. Por outro lado, no mês de nov/07, as chuvas ocorreram na primeira quinzena e as amostragens foram executadas no final do mês, resultando em maiores valores de transparência na piscicultura 2 e no controle 2, respectivamente, 2,75 m e 3,50 m.

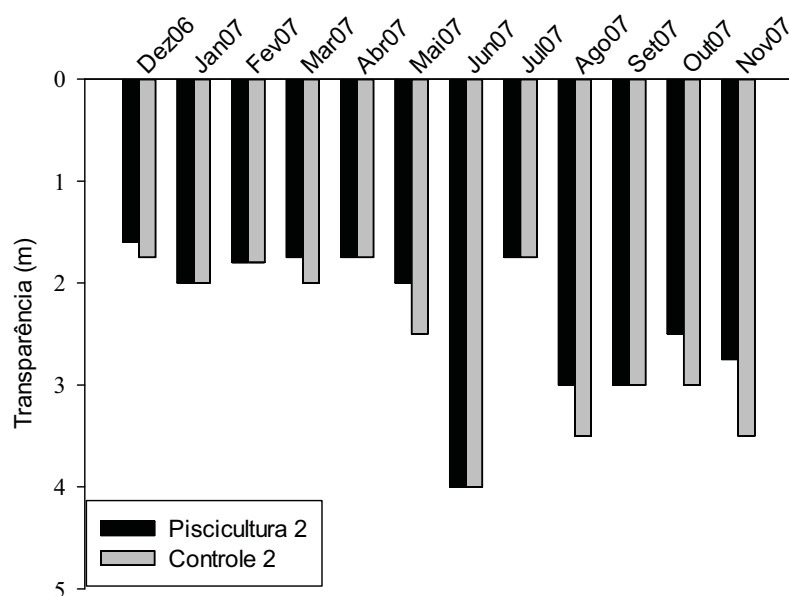


Figura 44. Variação dos valores médios da transparência da água na piscicultura 2 e no controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Turbidez

A turbidez na piscicultura 2 variou entre 28,90 UNT no mês de dez/06 (fundo) e 1,04 UNT no mês de nov/07 (superfície). Por sua vez, no controle 1, o maior e o menor valor, respectivamente, 8,39 UNT (fundo) e 1,01 UNT (superfície e fundo), foram verificados no mês de mar/07. De uma maneira geral, os valores mais elevados foram observados no hipolímnio.

A figura 45 apresenta graficamente a comparação entre a variação mensal da turbidez na piscicultura 2 e no controle 2, durante o período da pesquisa. Em contraposição à transparência, os maiores valores médios em ambas as áreas foram verificados no período chuvoso, enquanto as menores médias foram obtidas no mês de jun/07.

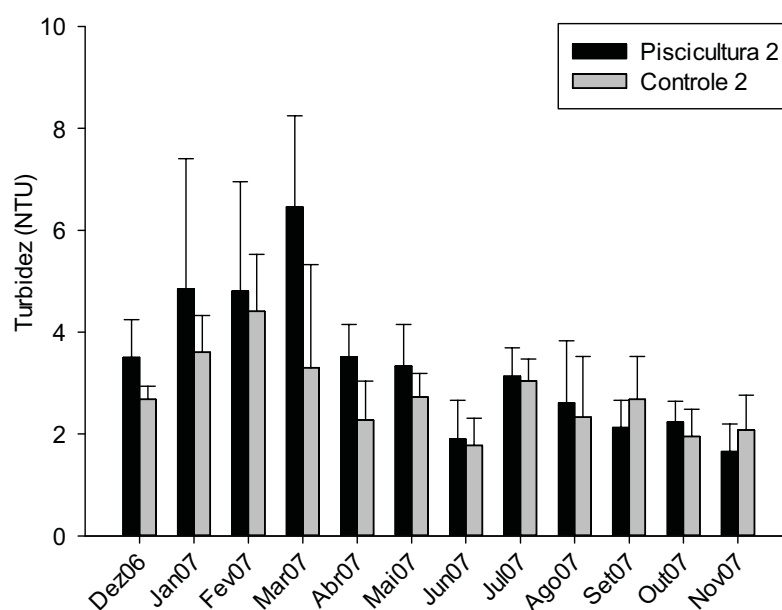


Figura 45. Variação da turbidez (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Sólidos totais dissolvidos (STD)

A concentração de STD na piscicultura 2 variou entre 7,58 mg L⁻¹, no mês de mar/07 (superfície), e 2,90 mg L⁻¹, no mês fev/07 (superfície). No controle 2, o máximo valor (5,47 mg L⁻¹) foi verificado no mês abr/07 (fundo) e o menor (1,07 mg L⁻¹) no mês de set/07 (fundo).

A figura 46 mostra graficamente a variação mensal da variação das concentrações de STD na região de transição do reservatório (piscicultura 2 e controle 2) durante o período da pesquisa. Na piscicultura 2 os maiores valores

médios de STD foram verificados nos meses de mar/07, jun/07 e ago/07. No mês de jun/07 e ago/07, também foram registrados os maiores valores no controle 2. De um modo geral, no restante do período as médias ficaram abaixo de 4 mg L⁻¹.

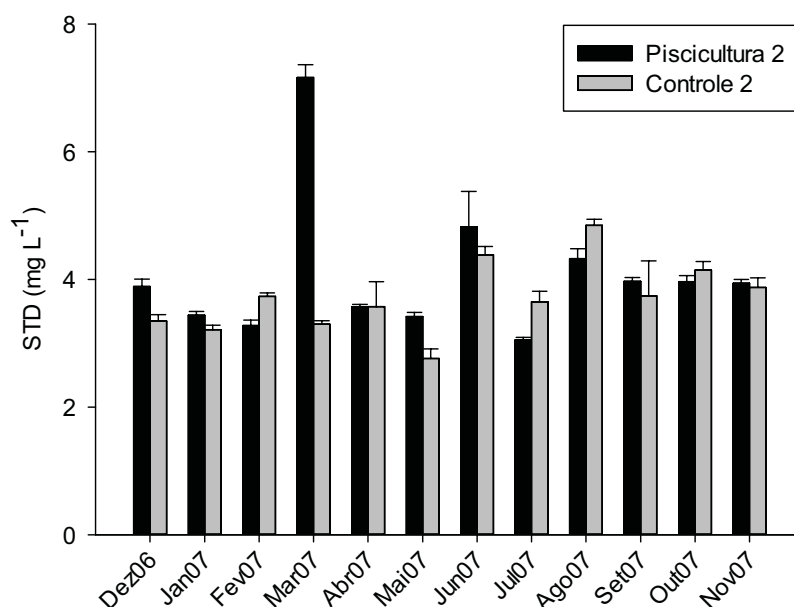


Figura 46. Variação da concentração de sólidos totais dissolvidos – STD (média e desvio- padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Clorofila *a*

A concentração de clorofila *a* na piscicultura 2 variou de 5,64 µg L⁻¹ no mês de dez/06 (fundo) até 0,11 µg L⁻¹ nos meses de abr/07 (superfície), de mai/07 (meio) e de jul/07 (meio e fundo). De outra parte, no controle 2, o maior valor, 5,13 µg L⁻¹, também foi verificado no mês de dez/06 (meio), enquanto o mínimo, 0,11 µg L⁻¹, ocorreu entre os meses de abr/07 a set/07, com exceção de jun/07, em diferentes níveis de profundidade.

A figura 47 mostra graficamente a comparação entre a variação mensal do clorofila *a* na piscicultura 2 e no controle 2, durante o período de estudo. A variabilidade dos dados foi maior no período chuvoso, entre os meses de dez/06

a mar/07, quando também ocorreram os maiores valores médios. Com exceção do mês de junho, , entre abr/07 a nov/07 ocorreram os menores valores médios.

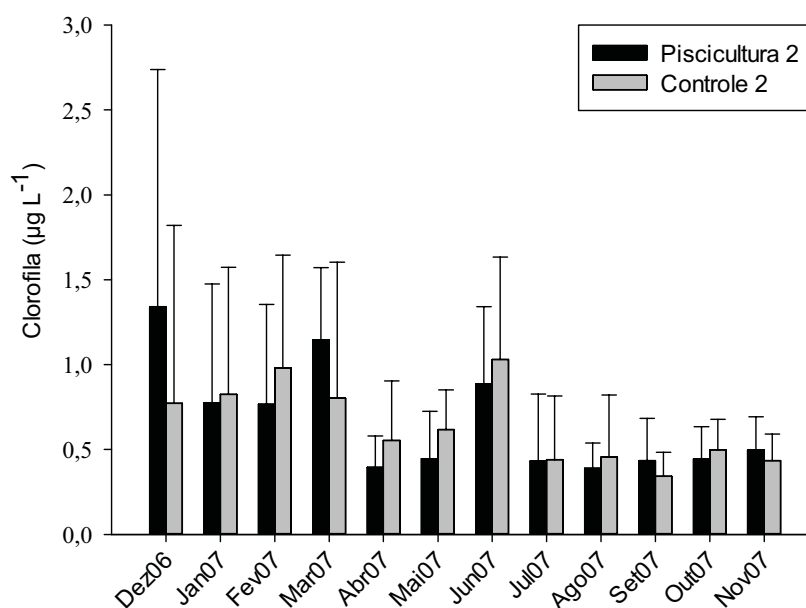


Figura 47. Variação da concentração de clorofila *a* (média e desvio-padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Coliformes termotolerantes

A quantidade de coliformes termotolerantes apresentou grande amplitude de variação entre os dados mensais. Na piscicultura 2 variou entre 1.600 NMP 100 mL⁻¹ e 4 NMP 100 mL⁻¹, e no controle 2 entre 1.600 NMP 100 mL⁻¹ a 2 NMP 100 mL⁻¹.

A figura 48 apresenta graficamente a variação mensal do número de coliformes termotolerantes na região de transição do reservatório (piscicultura 2 e controle 2) durante o período do estudo. De um modo geral, em ambas as áreas, os maiores valores médios ocorreram no período chuvoso, entre os meses de dez/06 e mar/07 e em jul/07, quando também ocorreram precipitações na época da coleta.

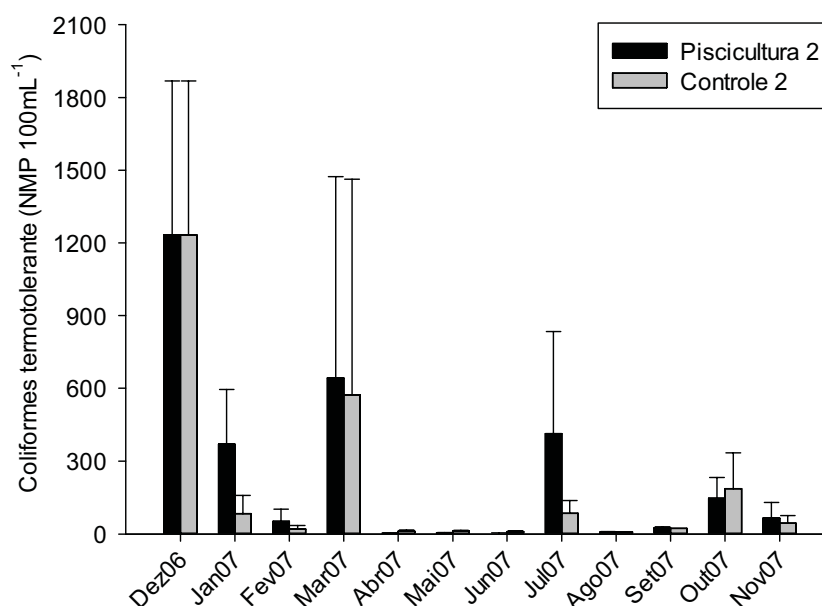


Figura 48. Variação da quantidade de coliformes termotolerantes (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

Fósforo total (PT)

Na piscicultura 2 as concentrações de PT variaram entre $67 \mu\text{g L}^{-1}$ e $23 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente, no fundo e no meio da coluna d'água, no mês de out/07. No controle 2 a variação foi de $104 \mu\text{g L}^{-1}$ a $23 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente, no fundo e no meio, no mês de mar/07.

A figura 49 apresenta graficamente a comparação entre a variação mensal do fósforo total (PT) na piscicultura 2 e no controle 2, durante o período analisado. Os valores médios mensais de PT na piscicultura 2 e no controle 2 foram próximos entre si na maior parte do período

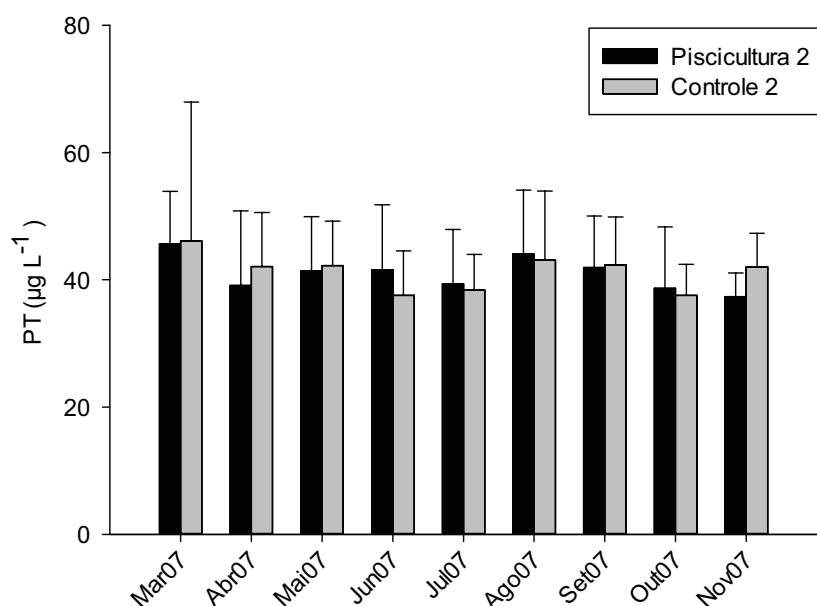


Figura 49. Variação da concentração de fósforo total – PT (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de mar/07 a nov/07.

Nitrogênio orgânico total (NOT)

Nos três primeiros meses de avaliação foi maior a variabilidade dos dados, idem ao observado no compartimento lacustre. As concentrações máximas e mínimas de NOT na piscicultura 2, respectivamente, $810 \mu\text{g L}^{-1}$ (fundo) e $20 \mu\text{g L}^{-1}$ (fundo), ocorreram no mês de dez/06. No controle 2, o valor de NOT variou de $1.430 \mu\text{g L}^{-1}$ no mês de dez/06 até $20 \mu\text{g L}^{-1}$ no mês de fev/07.

A figura 50 apresenta graficamente a comparação entre a variação mensal do nitrogênio orgânico total (NOT) na região de transição do reservatório (piscicultura 2 e controle 2) durante o período analisado. De uma maneira geral, os valores médios mensais foram próximos entre as áreas com e sem piscicultura, mas se observou que no mês de dez/06 a média foi acentuadamente maior no controle 1. Nesse mês, também foram observados maiores valores em

ambas as áreas, mas na piscicultura 2 o valor máximo foi verificado em fev/07. As menores médias foram obtidas nos meses de jan/07 e jul/07 em ambas as áreas.

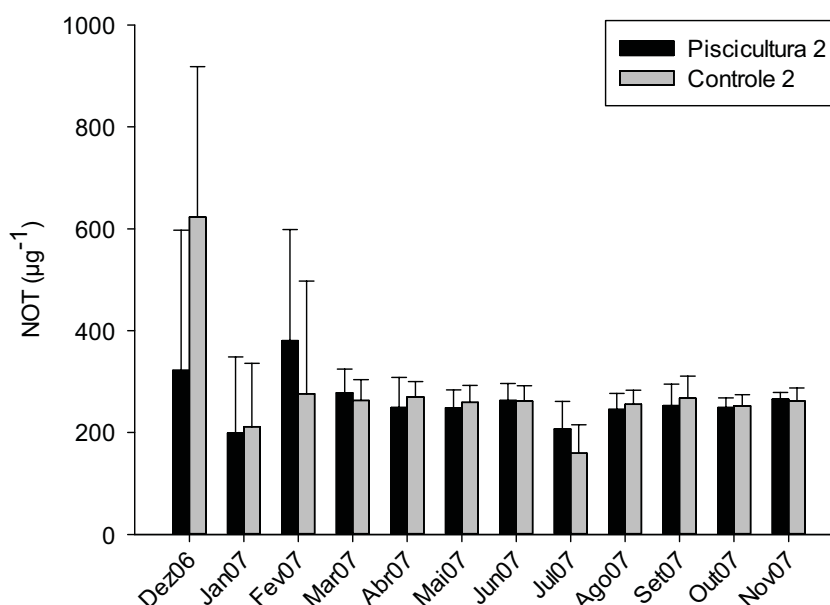


Figura 50. Variação da concentração de nitrogênio orgânico total - NOT (média e desvio padrão) em nove pontos amostrais (superfície, meio e fundo) da piscicultura 2 e do controle 2, no compartimento de transição do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07.

6.3. Índice de Estado Trófico (IET)

O IET de Carlson foi desenvolvido para regiões temperadas, de maneira que, os limites propostos nessa classificação podem não ser os mais adequados para regiões tropicais. No entanto, o IET de Carlson pode ser utilizado como indicativo de diferenças no estado de trofia entre as áreas, auxiliando na identificação da variabilidade entre as áreas com e sem piscicultura.

Na Tabela 3 estão apresentados os valores calculados para o Índice de Estado Trófico (IET), conforme proposto por Carlson (1977), a partir dos valores médios de transparência, clorofila *a* e fósforo total. As referências das classes de trofia são: Ultra oligotrófico < 20, Oligotrófico 20 – 40, Mesotrófico 40 – 50, Eutrófico 50 – 60, Hipereutrófico > 60.

Tabela 3. Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977), em função dos valores médios das variáveis transparência, clorofila *a* e fósforo total, nas pisciculturas 1 e 2 e respectivos controles, no reservatório da UHE Chavantes, rio Paranapanema, SE/S.

Área	IET Transparência		IET Fósforo total		IET Clorofila <i>a</i>	
	Resultado	Classificação	Resultado	Classificação	Resultado	Classificação
Piscicultura 1	35,9	Oligotrófico	58,7	Eutrófico	47,4	Mesotrófico
Controle 1	39,4	Oligotrófico	58,7	Eutrófico	44,7	Mesotrófico
Piscicultura 2	53,1	Eutrófico	58,7	Eutrófico	48,6	Mesotrófico
Controle 2	50,0	Meso/Eutrófico	58,7	Eutrófico	48,2	Mesotrófico

6.4. Comparação dos resultados com os valores desejáveis para a criação de espécies tropicais e os limites da legislação

Na tabela 4 estão contrastados os valores médios das variáveis limnológicas obtidas nas amostragens superficiais com os valores desejáveis para a criação de peixes de espécies tropicais, conforme Kubitza (2003), e os padrões legais estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 para águas superficiais da classe 2.

As áreas com piscicultura mostraram-se bem oxigenadas e com valores adequados de pH. Os valores médios de temperatura das áreas com piscicultura e dos controles ficaram abaixo dos desejados para a criação de peixes de espécies tropicais, entre os meses de mai/07 a out/07. Os valores médios de fósforo total ficaram acima do limite legal, considerando-se todas as áreas avaliadas.

Tabela 4. Valores médios das variáveis limnológicas avaliadas no reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07; valores desejados para a criação de peixes tropicais; e padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005. OD = oxigênio dissolvido, NOT = nitrogênio orgânico total, PT = fósforo total, DBO = demanda bioquímica de oxigênio, STD = sólidos totais dissolvidos, Col. Term. = coliformes termotolerantes, P1 = piscicultura 1, C1 = controle 1, P2 = piscicultura 2 e C2 = controle 2.

Variáveis limnológicas	Valores médios na superfície				Padrões Espécies Tropicais ¹	Padrões CONAMA Classe 2
	P1	C1	P2	C2		
pH	7,38	7,51	7,34	7,55	6,5 a 8,0	6,0 a 9,0
OD (mg L ⁻¹)	7,33	7,93	7,22	7,97	≥ 5,0	≥ 5,0
Temperatura (°C)	25,01	24,30	24,28	23,54	26,0 a 30,0	< 40 lançamento de efluentes
NOT (mg L ⁻¹)	0,23	0,25	0,27	0,27	—	—
Nitrito (mg L ⁻¹)	—	—	—	—	≤ 0,3	≤ 1,0
Nitrato (mg L ⁻¹)	—	—	—	—	—	≤ 10,0
PT (mg L ⁻¹)	0,04	0,04	0,04	0,04	—	≤ 0,03 ²
Turbidez (UNT)	1,96	2,11	2,90	2,55	—	≤ 40
DBO (mg L ⁻¹)	2,89	2,78	2,65	2,50	—	≤ 5,0
Clorofila a (µg L ⁻¹)	0,64	0,78	0,58	0,59	—	≤ 30
Condutividade	49,46	50,18	54,97	53,97	—	—
STD (mg L ⁻¹)	3,58	3,47	4,05	3,70	—	≤ 500
Col. termot. (NMP 100 mL ⁻¹)	209,33	209,00	247,11	195,94	—	≤ 1000
Transparência (m)	3,52	3,28	2,33	2,55	> 2,0 para tanque-rede	—

¹ Fonte: Kubitza (2003);

² Ambientes lênticos (tempo de residência superior a 40 dias).

6.5. Análise dos componentes principais (ACP)

Nas Figuras 51 a 53 e na Tabela 5, estão apresentados os resultados da análise dos componentes principais aplicada aos valores médios mensais das variáveis limnológicas (dez/06 a nov/07), considerando-se os nove pontos amostrais (P1 a P9) das áreas avaliadas, nas diferentes profundidades (S, M e F).

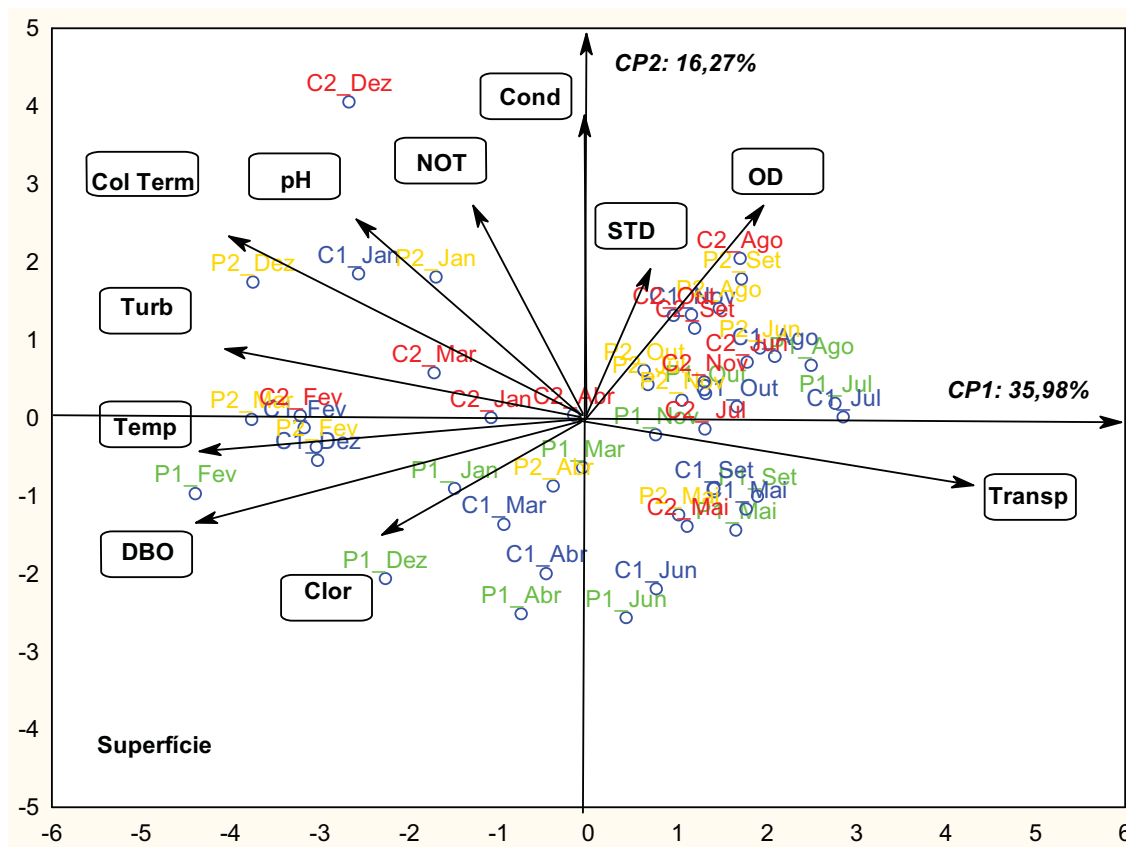


Figura 51. Ordenação nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) da ACP aplicada aos valores médios mensais de variáveis limnológicas (n=9) determinadas na superfície do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho).

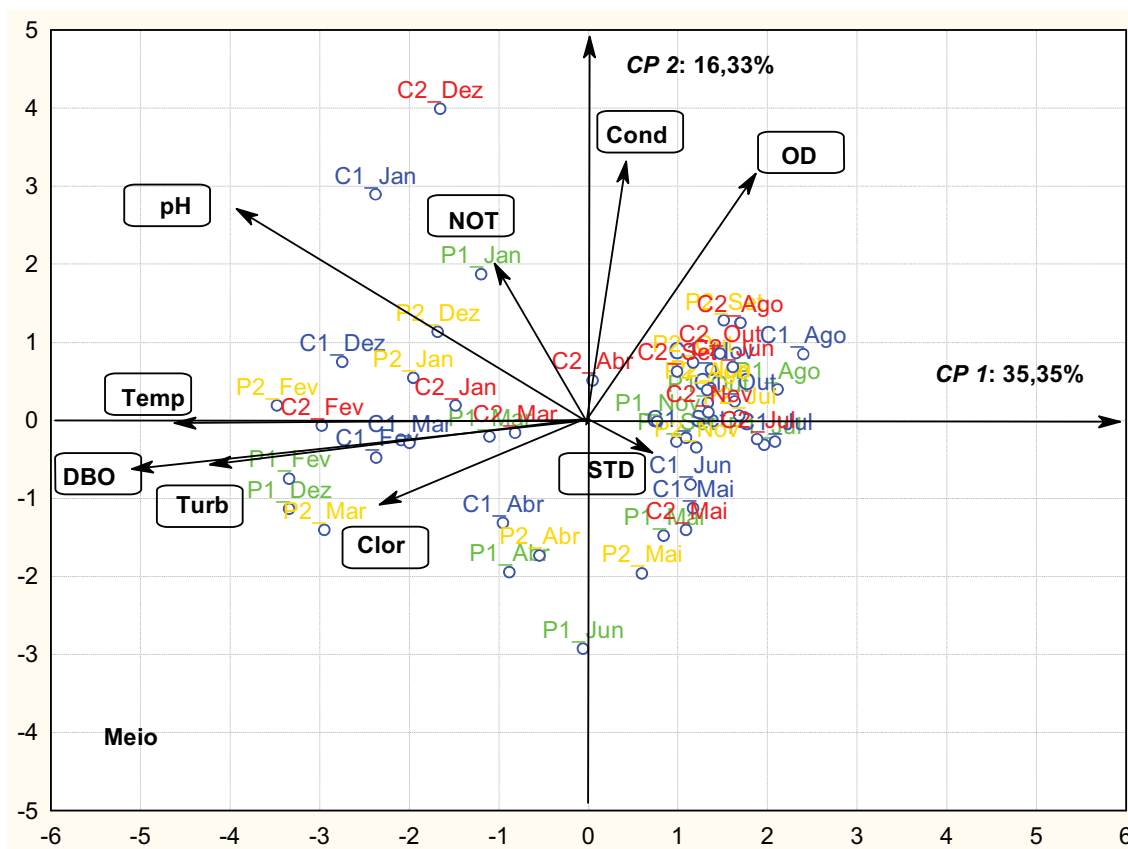


Figura 52. Ordenação nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) da ACP aplicada aos valores médios mensais ($n=9$) de variáveis limnológicas determinadas no meio da coluna eufótica do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho).

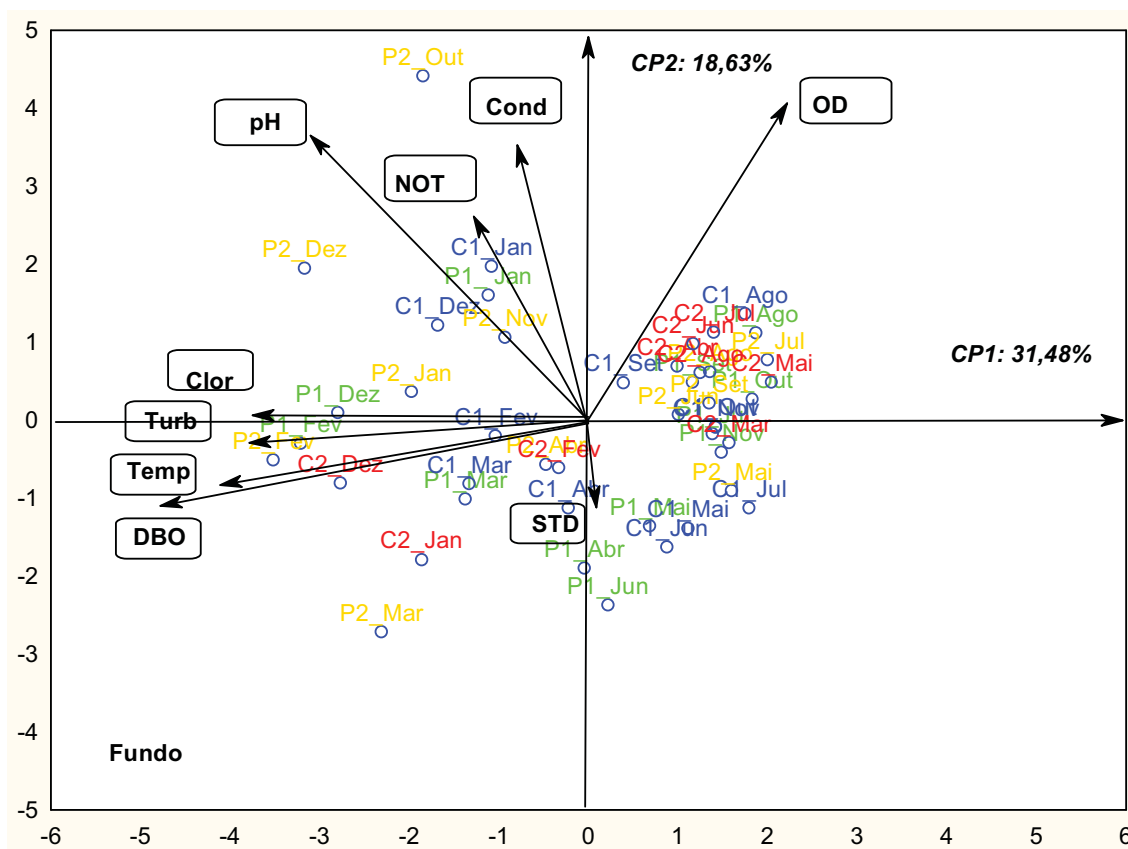


Figura 53. Ordenação nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) da ACP aplicada aos valores médios mensais ($n=9$) de variáveis limnológicas determinadas no fundo da coluna d'água do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/07. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho).

Tabela 5. Poder discriminatório das variáveis nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) das ACPs representadas nas Figuras 51, 52 e 53.

Variáveis	Superfície		Meio		Fundo	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
pH	-0,57	0,43	-0,67	0,55	-0,52	0,65
OD	0,37	0,46	0,36	0,66	0,34	0,76
Temperatura	-0,83	-0,16	-0,87	0,01	-0,74	-0,10
NOT	-0,28	0,43	-0,25	0,46	-0,24	0,43
Turbidez	-0,74	0,05	-0,74	-0,06	-0,70	-0,05
DBO	-0,86	-0,25	-0,94	-0,06	-0,91	-0,16
Clorofila <i>a</i>	-0,55	-0,35	-0,53	-0,10	-0,68	-0,01
Condutividade	0,01	0,87	0,10	0,68	-0,13	0,62
STD	0,11	0,30	0,12	-0,02	0,02	-0,18
Col.Term.	-0,75	0,25	---	---	---	---
Transparência	0,71	-0,22	---	---	---	---

A ACP aplicada aos valores médios mensais das variáveis limnológicas obtidas nos pontos amostrais (P1 a P9), entre dez/06 e nov/07, apresentou explicabilidade de 52,2%, 51,8% e 50,1%, respectivamente, na superfície, meio da camada eufótica e fundo da coluna d'água.

De um modo geral, no CP 1, os resultados obtidos nas amostras dos meses quentes e chuvosos (dez/06 a abr/07) foram agrupados do lado esquerdo do eixo 1, associados principalmente aos maiores valores de DBO, temperatura, turbidez, pH e clorofila *a*. Na ACP aplicada aos dados de superfície, esse período também foi associado à quantidade de coliformes termotolerantes. Por outro lado, os resultados obtidos nos meses relativos ao período seco ficaram do lado direito do eixo, relacionados positivamente à transparência da água.

No CP 2 da ACP aplicada aos dados de superfície observou-se uma tendência de associação do período seco aos maiores valores de OD e de segregação entre os compartimentos do reservatório, na qual o compartimento lacustre foi associado negativamente à condutividade. Não foi possível verificar a variabilidade entre as áreas com e sem piscicultura. Na superfície, onde é mais direta a influência dos fatores climáticos (chuvas, ventos e temperatura) foi maior a distribuição dos resultados em ambos os componentes principais, portanto, com maior variabilidade entre as amostras.

Nas Figuras 54 a 56 e na Tabela 6 estão apresentados, respectivamente, os gráficos gerados e as correlações das variáveis ambientais com os componentes 1 e 2 da ACP aplicada aos valores médios anuais das variáveis limnológicas obtidas nos pontos amostrais das áreas avaliadas, nas diferentes profundidades (S, M e F).

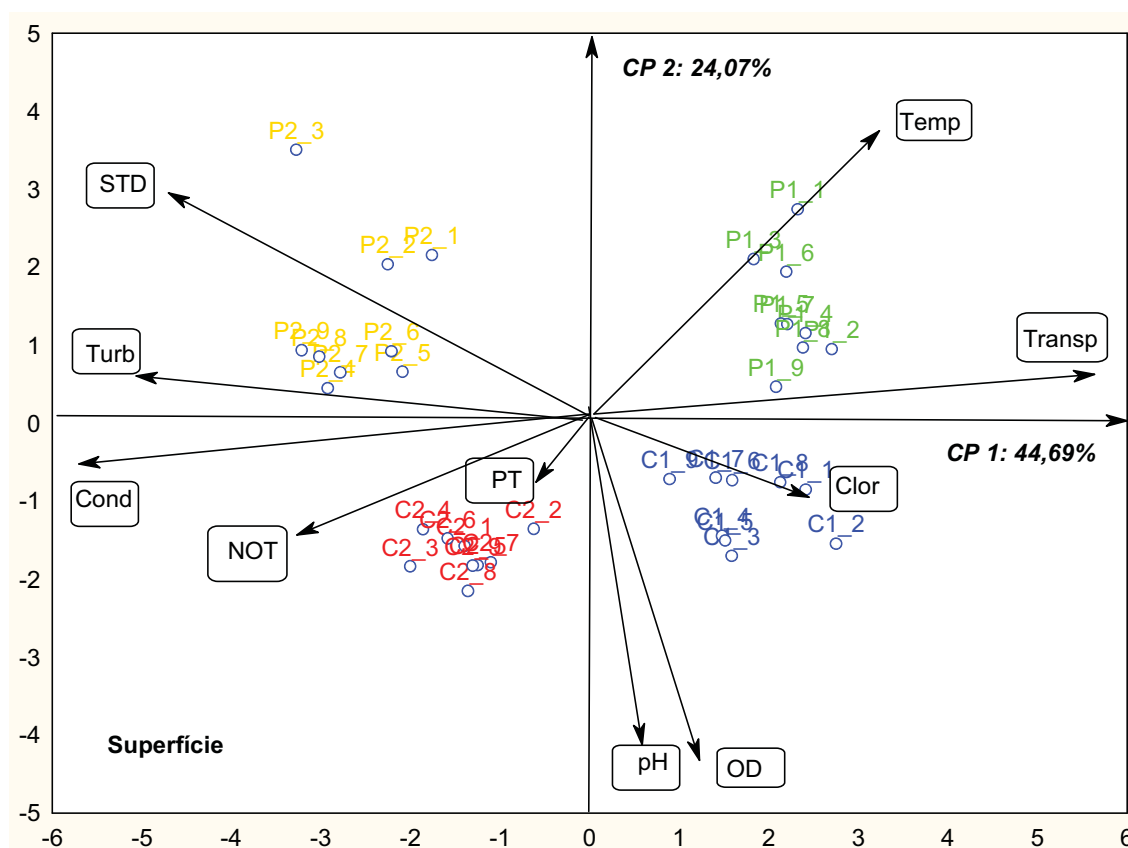


Figura 54. Ordenação nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) da ACP aplicada aos valores médios anuais ($n=12$) de variáveis limnológicas determinadas na superfície de pontos amostrais (1 a 9) do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/2007. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho).

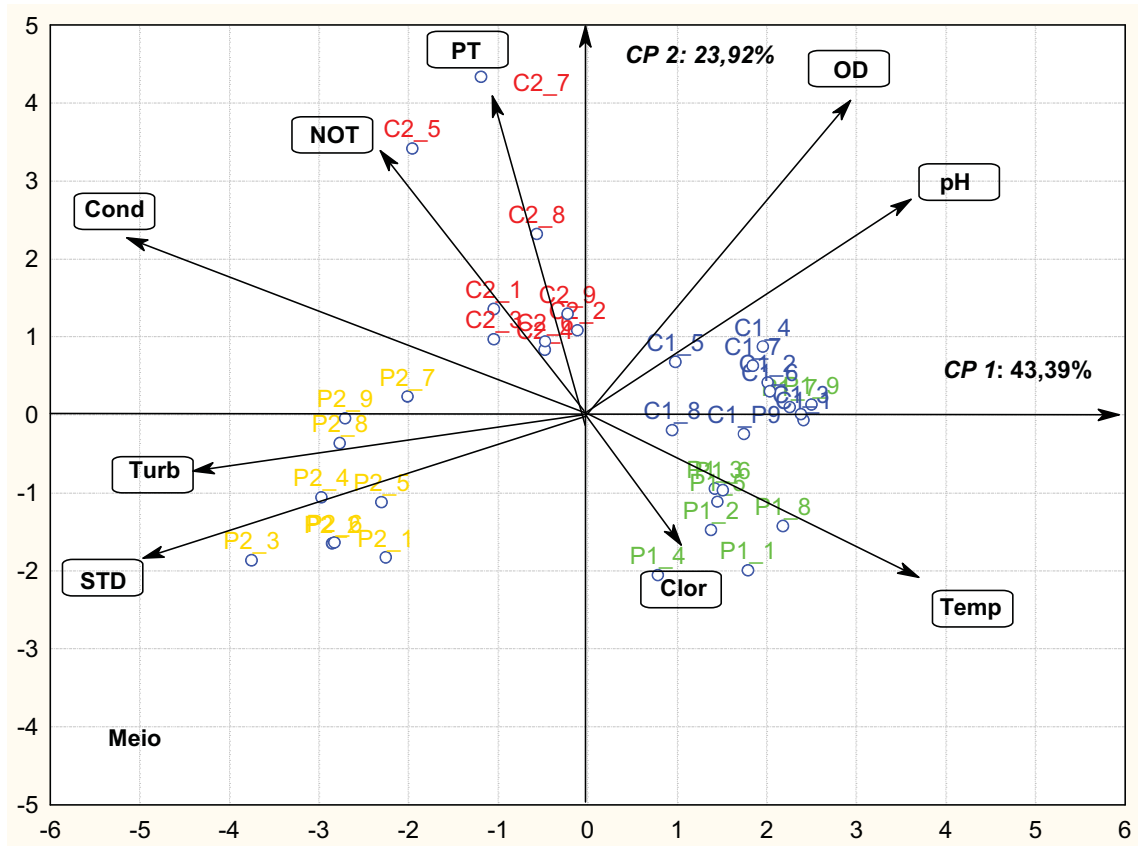


Figura 55. Ordenação nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) da ACP aplicada aos valores médios anuais ($n=12$) de variáveis limnológicas determinadas no meio da coluna eufótica de pontos amostrais (1 a 9) do reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/2007. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho).

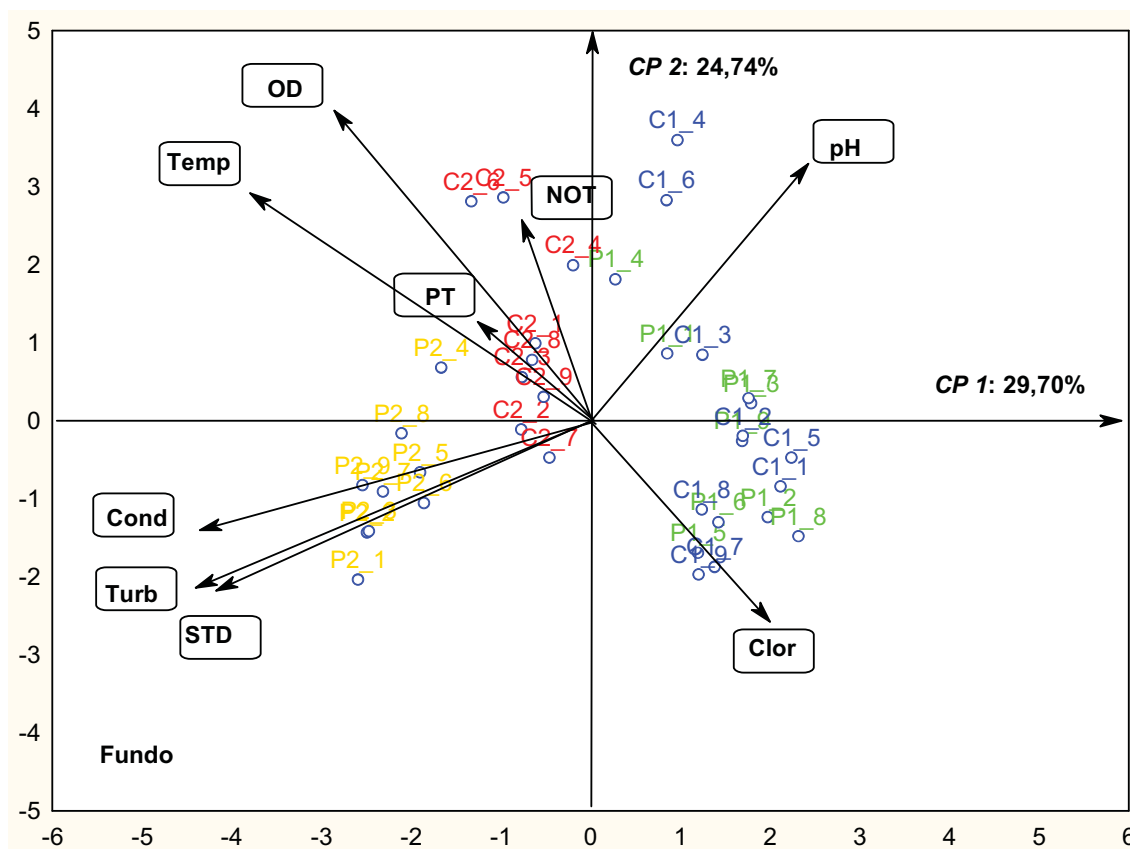


Figura 56. Ordenação nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) da ACP aplicada aos valores médios anuais ($n=12$) de variáveis limnológicas determinadas no fundo de pontos amostrais (1 a 9) no reservatório da UHE Chavantes, no período de dez/06 a nov/2007. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho).

Tabela 6. Poder discriminatório das variáveis nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) nas ACPs representadas nas Figuras 54, 55 e 56.

Variáveis	Superfície		Meio		Fundo	
	CP1	CP2	CP1		CP1	CP2
pH	0,05	-0,89	0,67	0,41	0,44	-0,59
OD	0,11	-0,96	0,53	0,72	-0,49	-0,80
Temperatura	0,60	0,63	0,78	-0,43	-0,70	-0,62
NOT	-0,63	-0,22	-0,43	0,66	-0,15	-0,52
PT	0,10	-0,09	-0,41	0,02	-0,13	-0,13
Turbidez	-0,92	0,08	-0,82	-0,10	-0,73	0,42
Clorofila	0,41	-0,12	0,19	-0,48	0,37	0,33
Condutividade	-0,96	-0,06	-0,90	0,32	-0,71	0,26
STD	-0,86	0,42	-0,87	-0,29	-0,71	0,41
Transparência	0,97	0,05	---	---	---	---

De uma maneira geral, o CP 1 das ACPs aplicadas às médias anuais das variáveis limnológicas obtidas nos pontos amostrados em todas as profundidades, explicou melhor a variabilidade entre os compartimentos do reservatório. Por sua vez, o CP 2 explicou mais a segregação entre as áreas com e sem piscicultura. A segregação da piscicultura 2 ficou mais evidente, em associação às variáveis STD e turbidez, em todas as profundidades, e também à condutividade, nas amostras do hipolímnio.

A variabilidade explicada pelos dois primeiros componentes das ACPs aplicadas aos resultados de superfície e do meio da coluna eufótica foi de 68,8% e 67,3%, respectivamente. No CP 1, em ambas as profundidades, o compartimento de transição ficou do lado esquerdo do eixo, associado positivamente aos maiores valores de condutividade, turbidez e STD, enquanto o compartimento lacustre ficou posicionado do lado direito associado à temperatura, principalmente a piscicultura 1. No CP 1 da ACP aplicada aos dados de superfície o compartimento de transição também foi relacionado positivamente à concentração de NOT, principalmente o controle 2, e o compartimento lacustre à transparência. Na ACP aplicada aos dados do meio da coluna eufótica o compartimento lacustre também foi relacionado positivamente aos maiores valores de pH.

No CP 2, os controles foram associados positivamente às variáveis OD e pH, indicativas de menor condição de trofia, sendo que a segregação entre a

piscicultura 2 e o controle 2 ficou mais evidente. O controle 2, posicionado no quadrante inferior esquerdo (superfície e meio) e no quadrante superior esquerdo (fundo), também foi mais associado à concentração de NOT. Nas ACPs aplicadas aos dados de superfície, as pisciculturas foram associadas aos maiores valores de temperatura, principalmente a piscicultura 1.

A explicabilidade da ACP aplicada aos dados do fundo da coluna d'água foi de 54,4%. No CP 1, os compartimentos do reservatório foram segregados, ficando o compartimento de transição situado do lado esquerdo desse componente, mais associado à condutividade, turbidez e STD, principalmente a piscicultura 2, mas também à temperatura, principalmente o controle 2.

Nas Figuras 57, 58 e 59 estão representadas graficamente as ACPs aplicadas aos resultados do mês de mar/07.

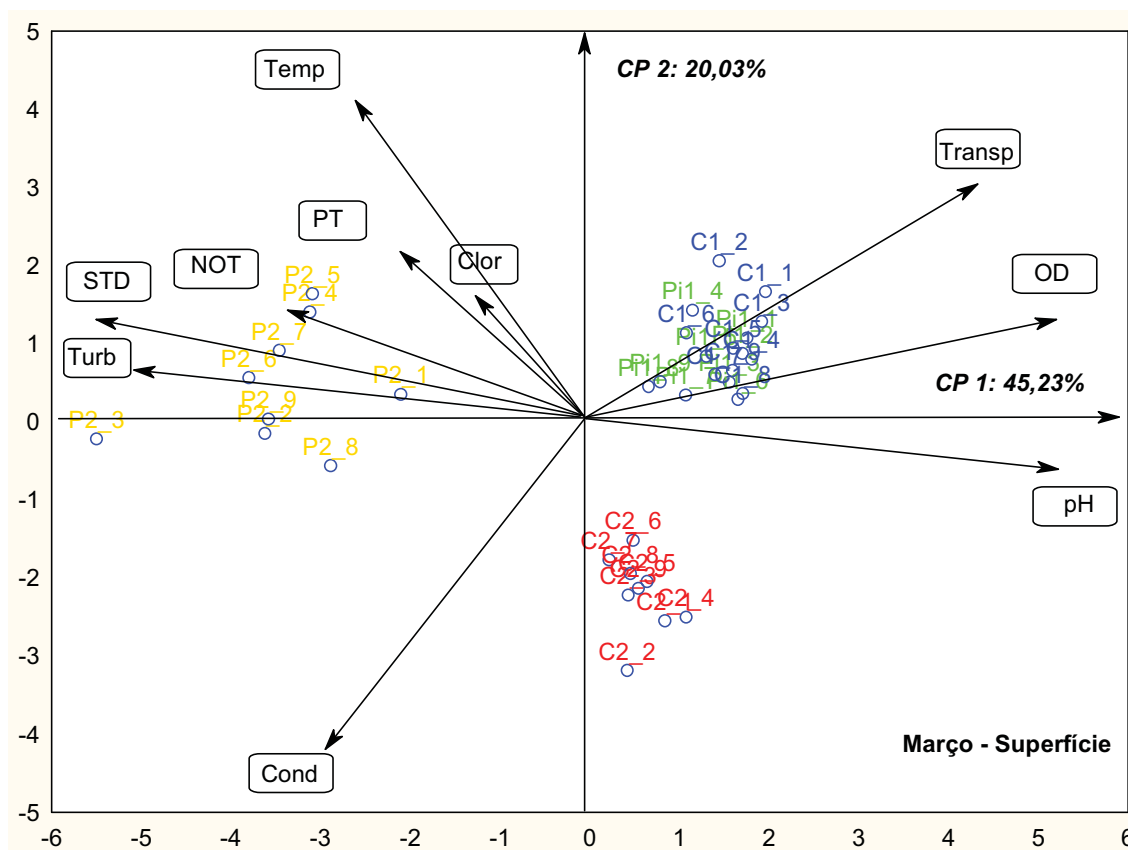


Figura 57. Ordenação nos componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2) da ACP aplicada aos valores de variáveis limnológicas (n=9) determinadas na superfície do reservatório da UHE Chavantes, no mês de mar/2007. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho).

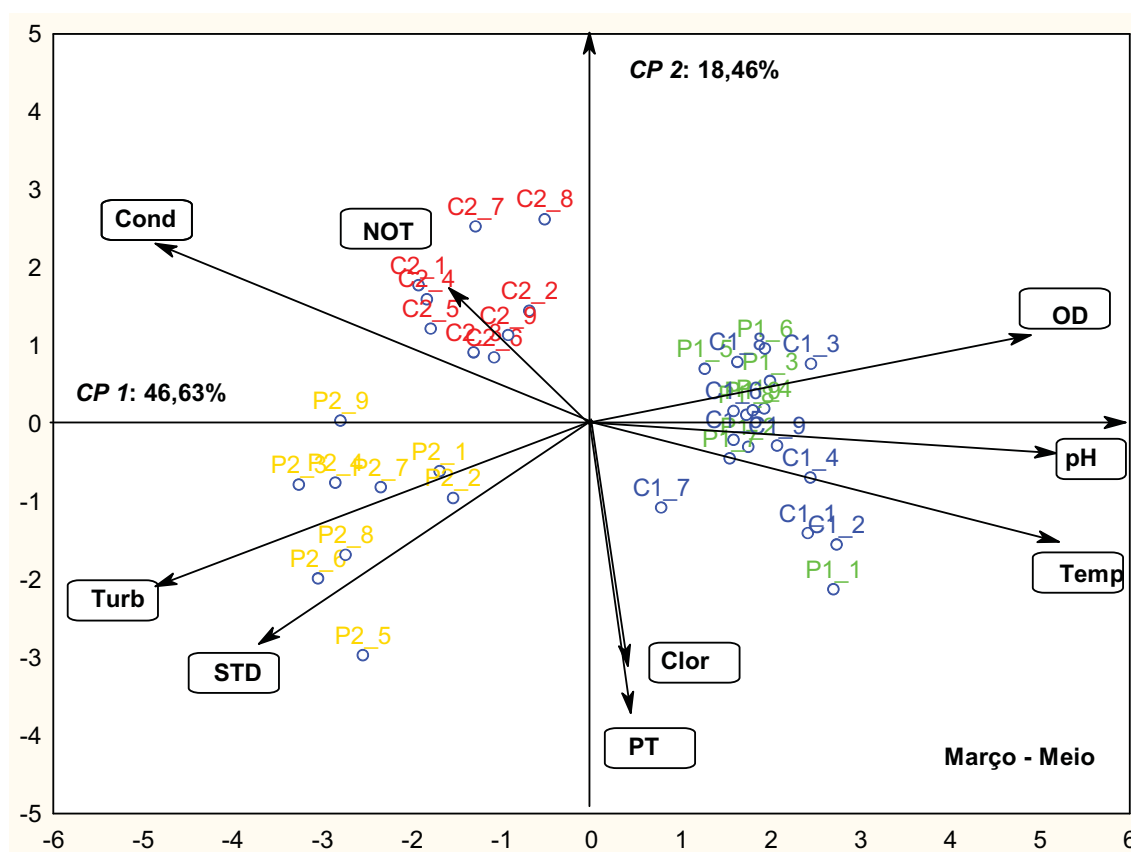


Figura 58. Ordenação nos componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2) da ACP aplicada aos valores de variáveis limnológicas (n=9) determinadas no meio da camada eufótica do reservatório da UHE Chavantes, no mês de mar/2007. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho).

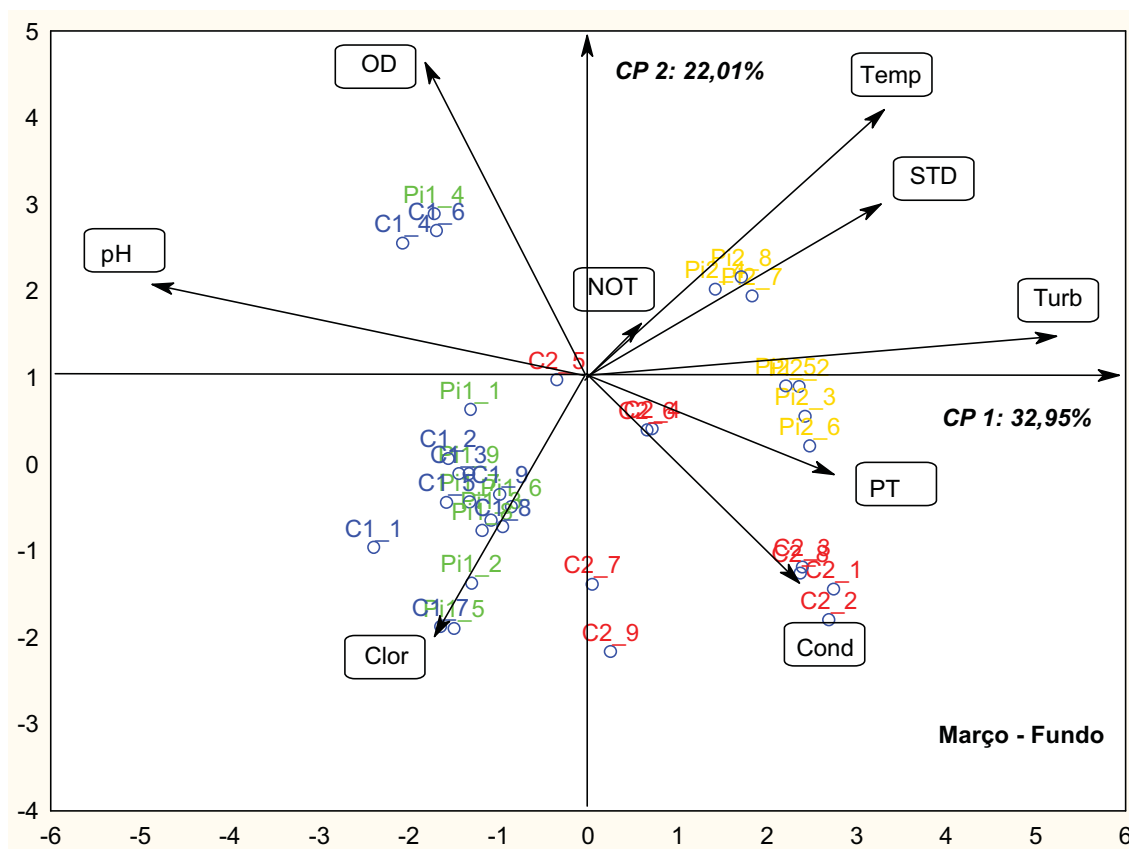


Figura 59. Ordenação nos componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2) da ACP aplicada aos valores de variáveis limnológicas (n=9) determinadas no fundo da coluna d'água do reservatório da UHE Chavantes, no mês de mar/2007. P1 = Piscicultura no compartimento lacustre (verde), C1 = Controle no compartimento lacustre (azul), P2 = Piscicultura no compartimento de transição (amarelo) e C2 = Controle no compartimento de transição (vermelho).

Tabela 7. Poder discriminatório das variáveis nos componentes principais 1 (CP 1) e 2 (CP 2) nas ACPs representadas nas Figuras 57, 58 e 59.

Variáveis	Superfície		Meio		Fundo	
	CP1	CP2	CP1		CP1	CP2
pH	0,88	-0,06	0,88	-0,05	-0,82	0,20
OD	0,87	0,14	0,80	0,16	-0,34	0,84
Temperatura	-0,41	0,83	0,88	-0,28	0,57	0,67
NOT	-0,50	0,20	-0,22	0,26	0,05	0,04
PT	-0,29	0,35	0,07	-0,68	0,64	-0,17
Turbidez	-0,86	0,07	-0,83	-0,35	0,91	0,09
Clorofila	-0,17	0,24	-0,08	-0,65	-0,22	-0,55
Condutividade	-0,45	-0,83	-0,87	0,38	0,52	-0,47
STD	-0,93	0,22	-0,68	-0,54	0,49	0,43
Transparência	0,76	0,55	---	---	---	---

A ACP aplicada aos dados das amostras de superfície no mês de março, com explicabilidade de 65,2%, segregou a piscicultura 2 das demais áreas, no quadrante superior esquerdo. No CP 1, essa área foi associada aos maiores valores de STD e de turbidez, enquanto no CP 2 foi associada principalmente à temperatura. No CP1, as demais amostras, principalmente as do compartimento lacustre, foram associadas positivamente à transparência, OD e pH. No CP 2 da ACP aplicada aos valores de superfície o controle 2 foi mais associado à condutividade.

No CP1 da ACP aplicada aos dados do meio da coluna eufótica, no qual se verificou 65,1% de explicabilidade, os compartimentos foram segregados. Considerando-se os dados de superfície e meio, o compartimento lacustre foi associado positivamente à transparência, OD, pH e temperatura. Notou-se pouca distinção entre a piscicultura 1 e o controle 1, enquanto o controle 2 foi mais associado à condutividade e a piscicultura 2 aos maiores valores de turbidez e STD.

A retenção da ACP aplicada aos dados de fundo foi de 54,9%. No CP1, o compartimento lacustre foi mais associado ao pH e o compartimento de transição aos maiores valores de turbidez e PT. Além disso, foi mantida a mesma tendência das análises aplicadas às demais profundidades, nas quais as amostras do

controle 2 foram associadas aos maiores valores de condutividade e as amostras da piscicultura 2, aos maiores valores de STD e turbidez, além de temperatura. No CP 2, observou-se uma tendência de associação da piscicultura 2 aos maiores valores de temperatura e dos pontos amostrais mais rasos do compartimento lacustre aos maiores valores de OD.

6.6. Análise de variância

A aplicação da Anova *two-way* (f e p) demonstrou que, na região lacustre, a diferença da transparência da água foi significativa entre os meses de estudo ($f = 13,92$; $p < 0,05$), mas não foi significativa entre a piscicultura 1 e o controle 1. No compartimento de transição, a diferença de transparência foi significativa entre os meses ($f = 31,83$; $p < 0,05$) e significativamente maior na área com piscicultura ($f = 7,92$; $p < 0,05$).

O resultado da Anova aplicada aos dados de coliformes termotolerantes demonstrou que a diferença entre os meses foi significativa no compartimento lacustre ($f = 5,90$; $p < 0,05$) e no compartimento de transição ($f = 8,60$; $p < 0,05$). No entanto, a diferença não foi significativa entre as áreas com e sem piscicultura em ambas as regiões do reservatório.

Finalmente, a Anova aplicada aos resultados de DBO, considerando-se os dados obtidos nas três profundidades amostradas, comprovou que a DBO foi maior nas áreas com piscicultura, comparativamente aos controles, em ambas as regiões do reservatório. No compartimento lacustre as diferenças foram significativas entre os meses ($f = 160,13$; $p < 0,05$) e entre a piscicultura 1 e o controle 1 ($f = 4,20$; $p < 0,05$). No compartimento de transição, da mesma forma, as diferenças foram significativas entre os meses ($f = 174,40$; $p < 0,05$) e entre a piscicultura 2 e o controle 2 ($f = 15,18$; $p < 0,05$).

7. DISCUSSÃO

Os resultados foram analisados buscando-se identificar a influência da piscicultura para a variabilidade temporal (sazonalidade) e espacial das variáveis limnológicas entre as áreas avaliadas, considerando-se a compartimentalização do reservatório.

Os atributos considerados evidenciaram a complexidade do ambiente aquático, decorrente da interrelação entre seus aspectos estruturais e funcionais, que por sua vez são influenciados por um conjunto de fatores afetos à bacia hidrográfica. Assim sendo, é difícil determinar, em reservatórios de médio e grande porte, quais alterações são decorrentes da piscicultura, uma vez que a qualidade da água é um indicador da ocupação da bacia hidrográfica e dos seus múltiplos usos.

O uso de valores médios anuais das variáveis limnológicas na aplicação das ACPs implicou na perda de variabilidade dos resultados mensais, no entanto, contribuiu para a identificação de padrões recorrentes de variabilidade entre as áreas e da capacidade de discriminação das variáveis limnológicas. A variabilidade mensal dos dados está melhor discutida com base nos valores absolutos e nas médias mensais, as quais foram apresentadas graficamente. As análises mensais comprovaram que as ACPs aplicadas às médias anuais podem ser utilizadas como parâmetro para distinção entre as características limnológicas das áreas avaliadas no estudo. No entanto, as ACPs aplicadas aos resultados do mês de mar/07 também demonstraram que existe variabilidade mensal entre as áreas com e sem piscicultura, as quais devem ser investigadas nos meses em que haja indícios de maiores alterações ambientais. Por exemplo, o mês de mar/07 representa o período no qual a piscicultura foi mais intensificada, quando, de fato, foram observadas variações nas concentrações das variáveis indicativas de aumento de trofia e/ou de processos oxidativos, como o OD, o pH e a DBO.

7.1. Variabilidade temporal

A influência dos períodos de maior e menor pluviosidade (chuvoso e seco) é um fator importante na limnologia dos reservatórios do rio Paranapanema (NOGUEIRA et al., 2002, 2006; JORCIN; NOGUEIRA, 2005; PAGIORO et al., 2005). De fato, os resultados obtidos demonstraram que a sazonalidade climática foi um fator determinante para a variabilidade das variáveis limnológicas. As variações temporais das variáveis limnológicas foram similares nas áreas com piscicultura e respectivos controles.

No período de estudo não houve sincronia entre o regime de chuvas e o hidrológico, uma vez que as maiores cotas do reservatório coincidiram com o período seco, comprovando a influência da operação da usina para a determinação dos níveis hidrométricos e vazão do reservatório. No entanto, não se pode afirmar que houve relação entre a variabilidade das variáveis avaliadas e as alterações da cotas altimétricas (e.g. concentração e diluição), uma vez que na presente pesquisa não foram realizados estudos hidrológicos específicos. No entanto, Nogueira (2000; 2001) verificou heterogeneidade espacial na distribuição dos valores das variáveis limnológicas e comunidades bióticas na bacia do Paranapanema, em função da operação das usinas, principalmente relacionada à influência sobre o tempo de residência da água.

As variações na estrutura térmica e química da coluna d'água em função da sazonalidade climática foram distintas entre os compartimentos estudados. No compartimento lacustre, a temperatura alta associada a outros fatores, como elevada profundidade e tempo de residência, promoveu a ocorrência de um padrão monomítico quente de circulação, com o predomínio de perfil clinogrado e baixas concentrações de OD no hipolímnio. A estratificação térmica nessa região do reservatório de Chavantes já havia sido observada em pesquisas anteriores (NOGUEIRA et al., 2001; 2006; PAGIORO et al., 2005), representando um padrão típico de lagos tropicais/subtropicais de altitude no Brasil (HENRY, 1995, TUNDISI et al., 2008).

A estratificação térmica foi acompanhada de estratificação química, demonstrada pela estratificação de OD e de gradientes de pH observados nos

gráficos de perfis verticais. No entanto, observaram-se perfis mais homogêneos de condutividade elétrica, o que pode ser indicativo de menor acúmulo de matéria orgânica no fundo do reservatório, uma vez que, também, não foram verificados maiores valores de nutrientes nesse compartimento vertical. Dessa forma, as baixas concentrações de OD verificadas no hipolímnio dessas áreas provavelmente foram decorrentes do alto metabolismo microbiano e do longo período de estratificação térmica, associados às temperaturas, as quais estiveram sempre acima de 19°C no fundo da coluna d'água. Pagioro et al. (2005), comparando os perfis de temperatura e OD de reservatórios situados em diferentes regiões do estado do Paraná e na divisa desse estado com o de São Paulo, verificaram que os reservatórios mais profundos, com maior tempo de residência, latitude e altitude apresentavam estabilidade térmica com formação de oxiclina. De acordo com os autores, esta distribuição de OD na coluna d'água é direcionada pela profundidade da zona eufótica e pelos processos de difusão do oxigênio na água.

Por sua vez, o compartimento de transição, por se tratar de um ambiente mais raso e exposto a ventos, com menor tempo de residência, apresentou maior condição de circulação total, com predominância de perfis homogêneos e maiores concentrações de OD no hipolímnio. Os gradientes mais evidentes entre a superfície e o fundo da coluna d'água e as menores concentrações de OD foram observados entre os meses de jan/07 e abr/07. De forma que as menores concentrações de OD nesse compartimento podem ser associadas ao período mais quente, quando é menor a solubilidade do OD e mais intenso o metabolismo do ambiente. Nesse período foram observadas maiores médias de DBO indicando que houve maior consumo de OD.

A transparência da água respondeu rápida e inversamente às chuvas, as quais promovem entrada de material alóctone do entorno e de tributários. Assim, maiores valores de transparência foram observados no período seco. Os valores obtidos no presente estudo foram próximos aos verificados em pesquisa realizada por Nogueira, 2002. Em reservatórios não eutróficos, a transparência é fortemente influenciada pela presença de partículas suspensas, as quais são introduzidas em grande quantidade durante o período chuvoso (TUNDISI, 1993). Henry (2004), em estudo no reservatório de Jurumirim, à montante de Chavantes, concluiu que a

variação da transparência durante o ano ($2,69 \pm 0,85$ m) deveu-se mais a eventos hidrológicos temporários do que à circulação vertical, à ressuspensão de material ou à redução de penetração da luz pelo fitoplâncton.

Os maiores valores de turbidez no período chuvoso corroboram a diminuição da transparência devido ao acréscimo de partículas em suspensão. Estudos anteriores no reservatório de Chavantes constataram resultados de turbidez próximos aos valores médios observados (NOGUEIRA et al., 2002; PAGIORO et al., 2005 c). Este fato implica em que a classificação do IET de Carlson com base nos valores de transparência, não deve ser considerada como indicativo do aumento de produtividade primária nas áreas analisadas.

No período chuvoso também se observou o aumento de clorofila *a*, provavelmente decorrente da maior incidência luminosa, de temperaturas mais elevada e, possivelmente devido ao maior aporte de nutrientes provenientes da bacia. Nos meses de dez/06 e jan/07, quando as chuvas foram mais intensas, foram verificados os maiores valores de NOT, considerando-se todas as áreas estudadas. Porém, os valores médios de clorofila *a* permaneceram baixos ($< 1 \mu\text{g L}^{-1}$), coerentes com a condição de trofia avaliada pelas demais variáveis, à exceção do PT, e compatíveis com estudos anteriores nesse reservatório (NOGUEIRA et al., 2002; 2006; PAGIORO et al., 2005 c). Os maiores valores de transparência e de clorofila *a* provavelmente contribuíram para a elevação de pH observada no meio da coluna d'água.

Não foi observado um padrão de variação da clorofila *a* associado aos valores de PT, os quais se mantiveram relativamente estáveis no decorrer do período de estudo, com a ressalva que o PT não foi analisado nos primeiros meses. Fatores, como o grande volume de água, que aumenta a diluição e dispersão de nutrientes, a rápida reciclagem do fósforo na coluna d'água sob altas temperaturas, sua sedimentação e complexação e o baixo grau de trofia demonstrado pelas demais variáveis, provavelmente contribuíram para que isso ocorresse.

Kaggwa et al. (2010), em pequenos, rasos e hipereutróficos reservatórios, no Kenya, África, com valor médio mínimo de $104,4 \pm 37,7 \mu\text{g L}^{-1}$ de PT e $105,6 \pm 70,5 \mu\text{g L}^{-1}$ de clorofila *a*, considerando-se todos reservatórios avaliados,

observou forte relação entre o aumento de clorofila *a* e PT, com aumento dos valores no período chuvoso.

Por outro lado, a não verificação da relação positiva entre as concentrações de clorofila *a* e de PT sugere que devam ser realizados estudos relacionados à produtividade primária e aos principais fatores limitantes neste sistema aquático. Nos modelos de balanço de nutrientes o fósforo é assumido como o principal fator limitante do crescimento algal em reservatórios, mas a carga de fósforo é apenas um entre os fatores que atuam para a abundância de algas, como já citado anteriormente. Nesse mesmo nível de discussão, Thoman e Mueller (1987) afirmaram que a relação N/P é determinante para se estimar qual desses nutrientes controla o crescimento de algas. De maneira que, em grandes lagos com predominância de fontes não pontuais, quando essa relação é maior que 10, o P seria o nutriente controlador. No presente estudo essa relação foi menor que 8, considerando-se a média dos valores de fósforo e nitrogênio totais das quatro áreas avaliadas.

O aumento do número de coliformes termotolerantes observado no período chuvoso é esperado, devido à entrada de resíduos do entorno e de tributários ocasionada pelas chuvas e pela intensificação das atividades metabólicas dos micro-organismos com a elevação da temperatura. Ressalte-se que, no entorno dessa região predominam as pastagens e a população deste grupo de micro-organismos é constituída de uma alta proporção de *Escherichia coli*, que tem seu habitat principal no trato intestinal do homem e de outros animais de sangue quente (LEITÃO et al., 1988). Além disso, no entorno do reservatório existiam municípios com lançamento do esgoto sem tratamento prévio, o que pode ter interferido também para o aumento da DBO nesse período. Ressalte-se que os coliformes termotolerantes além de presentes em fezes humanas e de animais, podem ser encontrados em solos, plantas e quaisquer efluentes contendo matéria orgânica (BRASIL, 2010).

7.2. Variabilidade espacial entre compartimentos

A compartimentalização do reservatório foi o principal fator que contribuiu para a variabilidade espacial entre as áreas. No levantamento batimétrico constataram-se as diferenças morfológicas e morfométricas entre as áreas localizadas nos compartimentos lacustre e de transição rio-reservatório. Também foram observadas especificidades morfológicas e morfométricas das baías situadas no mesmo compartimento. O conhecimento dessas particularidades é uma importante contribuição para a avaliação da variabilidade limnológica entre as áreas.

No compartimento lacustre, a conexão do controle 1 com o canal principal é mais aberta, comparativamente à área com a piscicultura 1. Este fato é indicativo de que essa área seja mais exposta aos ventos e correntes, o que implica na tendência a ocorrer maior turbulência e trocas de água (menor tempo de residência). No compartimento de transição, verificou-se que a área onde está instalada a piscicultura 2 tem menor tamanho e volume comparativamente ao controle 2, mas provavelmente receba a influência de outras duas baías adjacentes conectadas com o canal principal, o que aumenta a possibilidade de mistura da coluna d'água. Novamente, fica evidente a necessidade da realização de estudos hidrológicos específicos. Por exemplo, em estudo realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA), o tempo de residência da água no braço do rio Paranapanema foi calculado em 51 dias (ANA, 2007), ao passo que o tempo de residência do reservatório é em torno de 400 dias. Ressalte-se que o tempo de residência em reservatórios de acumulação é influenciado, ainda, pela operação das usinas. Nogueira (2000; 2001) verificou heterogeneidade espacial na distribuição dos valores das variáveis limnológicas e comunidades bióticas na bacia do Paranapanema, em função da operação das usinas, principalmente relacionada à influência sobre o tempo de residência da água.

Algumas diferenças no comportamento das variáveis limnológicas em função da compartimentalização do reservatório já foram discutidas no item anterior (variabilidade temporal). Além dessas, foram observadas outras diferenças, relacionadas à concentração das variáveis limnológicas. Na superfície

e na camada eufótica as variáveis que mais distinguiram os compartimentos foram: transparência, temperatura, pH, DBO, OD e clorofila *a*, associadas ao compartimento lacustre; e condutividade, turbidez, STD, NOT e, em menor proporção, PT, mais relacionadas ao compartimento de transição rio-reservatório.

Na região lacustre, os maiores valores de transparência corroboraram a tendência esperada de aumento da penetração de luz das zonas lólicas e intermediárias para as zonas lânticas. A maior transparência, associada ao menor fluxo de água e menor turbulência, propicia maior aquecimento da água. Por sua vez, maiores profundidades da camada eufótica e temperaturas mais elevadas, além do maior tempo de residência da água, contribuem para a elevação da concentração de clorofila *a*. Em ambientes correntes, a velocidade do fluxo das águas e a taxa de exportação de organismos diminuem o tempo hábil para que os organismo se multipliquem e reponham a biomassa perdida (CANTER-LUND; LUND, 1995). Pagioro et al. (2005b), em estudo para zonação longitudinal das variáveis abióticas em reservatórios, verificaram que a distribuição da clorofila é variável entre os compartimentos considerando-se distintos reservatórios.

Além disso, no compartimento lacustre, a tendência observada do aumento de OD no meio da camada eufótica é compatível com os maiores valores de clorofila *a* e de pH observados. Finalmente, os maiores valores de DBO são propiciados por esse conjunto de características, que contribuem para a aceleração do metabolismo aquático e, conseqüentemente, para o aumento de produtividade nesse compartimento, comparativamente ao compartimento de transição.

Por outro lado, na região de transição espera-se o aumento nos valores médios de condutividade, turbidez, STD, NOT e PT, em função do aumento de fluxo da água e do recebimento de material alóctone.

Esses resultados confirmam os estudos realizados por Perbiche-Neves e Nogueira (2010), os quais demonstraram que a diferença espacial entre os compartimentos do reservatório influenciou a estrutura das assembléias de Cladóceros no reservatório de Chavantes. Os autores afirmaram que os principais fatores que contribuíram para o desenvolvimento diferenciado entre os compartimentos foram as maiores concentrações de sólidos suspensos e turbidez

e os menores valores de transparência nas regiões com maior fluxo de água. Contudo, as diferenças entre os valores médios das concentrações das variáveis entre os compartimentos avaliados foram pequenas, demonstrando que ocorre similaridade entre espécies químicas dos compartimentos lacustre e de transição de reservatórios com longo tempo de residência.

Também, são aguardados maiores valores de temperatura e concentração de OD no hipolímnio do compartimento de transição, devido à maior circulação da água e às menores profundidades. Por sua vez, observou-se que o hipolímnio do compartimento lacustre foi mais associado aos maiores valores de DBO e à concentração de clorofila *a*. Valério et al. (2009), no reservatório de Manso (MS), verificaram diferença de concentração de clorofila nos níveis de profundidade em função da compartimentalização. De acordo com os autores, maiores concentrações no hipolímnio foram observadas no corpo principal do reservatório, em função da diferença entre a densidade da água do rio e do reservatório, semelhante a um mergulho. Assim, a água do rio, por apresentar temperatura mais fria e consequentemente maior densidade, afundaria gradativamente ao entrar no reservatório, e a clorofila *a*, mais abundante nas camadas superficiais, também iria para o fundo. No entanto, a clorofila *a* que ocorre no fundo da coluna d'água não é importante para o aumento de produtividade.

7.3. Variabilidade entre áreas com e sem piscicultura

Os resultados evidenciaram que as pisciculturas promoveram alterações nas características limnológicas do reservatório, sendo que a resposta do ambiente a essa atividade foi diferenciada em função da localização dos empreendimentos. As interferências na área com a piscicultura 2 foram mais evidentes, o que pode ter sido decorrente das condições intrínsecas ao compartimento, do maior porte do empreendimento e do manejo praticado.

Os controles foram mais associados aos maiores valores de OD e pH, em ambos os compartimentos, corroborando a ocorrência de processos oxidativos mais intensos nas áreas piscícolas (respiração e atividades microbiais). Essas constatações confirmam estudos anteriores, por exemplo, Bristow, 2005; Cornel;

Whoriskey, 1993; Degefu et al., 2011; Demir et al., 2001; Kaggwa et al., 2010; Veenstra et al, 2003.

Na piscicultura 1, observou-se que os maiores gradientes de concentração de OD entre essa área e o controle 1 ocorreram no mês de jun/07, quando houve a desestratificação da coluna d'água. Nesse período foram verificados aumentos nos valores de DBO, STD, e clorofila *a*, corroborando a inter-relação desses processos. Também a condutividade apresentou um aumento progressivo entre jun/07 e ago/07. Já os maiores gradientes entre a piscicultura 2 e o controle 2 ocorreram nos meses de dez/06 a abr/07, quando as temperaturas foram mais altas e a criação foi intensificado. As informações sobre a criação constantes na figura 9 confirmam o maior fornecimento de ração nesse período.

As diferenças de pH entre a coluna d'água da piscicultura 1 e do controle 1, de um modo geral, foram restritas às camadas mais superficiais e observadas em poucas ocasiões. Essas diferenças entre a piscicultura 2 e o controle 2 ocorreram com maior amplitude e em toda a coluna d'água, nos meses em que a criação foi intensificada.

Ambas as pisciculturas foram associadas aos maiores valores de temperatura e DBO. Esse aumento pode ser esperado, uma vez que os resíduos piscícolas na forma de matéria orgânica, partículas e sólidos em suspensão, podem resultar no acúmulo de sedimentos e na elevação dos valores da DBO (YI et al. 2004). Os maiores valores de temperatura na superfície e meio das áreas com piscicultura podem ter sido influenciados pelo horário das coletas, uma vez que na maior parte das campanhas de campo as amostragens nessas áreas foram realizadas na parte da tarde, ao passo que as coletas no controles foram realizadas no período da manhã.

A piscicultura 2 também foi associada aos menores valores de transparência e aos maiores de turbidez, STD e, nas amostras de fundo, à condutividade, corroborando maiores alterações promovidas por esse empreendimento. Simões et al, (2007; 2008), em pesquisa realizada para avaliação do efeito da piscicultura em viveiros escavados sobre os sistemas aquáticos em Assis/SP e Cândido Mota/SP, concluíram que o impacto ambiental proveniente da atividade de piscicultura é diagnosticado por alcalinidade e

turbidez. Os autores afirmaram que o impacto decorrente da urbanização é caracterizado pela DBO, enquanto que o da atividade agrícola pela presença de nitrogênio e fósforo. A concentração de STD é relacionada à turbidez, uma vez que representa a medida de sais inorgânicos, matéria orgânica e outros materiais dissolvidos na água (WEBER-SCANNELL; DUFFY, 2007). Provavelmente, os autores não consideraram a DBO importante para a distinção da piscicultura porque os valores normalmente observados para efluentes domésticos são consideravelmente mais altos. Diferentemente, na presente pesquisa a DBO diferenciou as áreas com e sem piscicultura, provavelmente pelo fato de o reservatório de Chavantes ser um ambiente mais limpo, com características oligo-mesotróficas.

Yi et al. (2004) também verificaram elevação na concentração de STD em duas áreas com piscicultura no Vietnã ($87,2 \pm 23,7 \text{ mg L}^{-1}$, $125,8 \pm 27,3 \text{ mg L}^{-1}$ e $86,0 \pm 31,1 \text{ mg L}^{-1}$), mas as concentrações foram bastante acima das determinadas no presente estudo. Os autores afirmaram que os valores de STD aumentaram no início do período chuvoso, apresentando um pico no meio dessa estação. Além disso, foi verificado que de 36,6 a 48,9% dessas concentrações eram compostas por sólidos orgânicos dissolvidos, sugerindo que as partículas orgânicas derivadas da alimentação e de materiais da vegetação do entorno tiveram uma efetiva contribuição para esse aumento.

No mês de mar/07, quando foi fornecida a maior quantidade de ração, foram verificadas as maiores concentrações de STD, acompanhadas de elevados valores de turbidez e menor transparência da água na piscicultura 2. Ao mesmo tempo, essa área foi discriminada das demais, as quais apresentaram maiores valores para as variáveis indicativas de menor condição de trofia (OD, pH e transparência). Essas constatações evidenciam o aumento das interferências da piscicultura nos meses em que a criação é intensificada, bem como a necessidade de diminuição de resíduos sólidos nas áreas piscícolas.

Os menores valores de transparência observados na piscicultura 2, comparativamente ao controle 2, confirmam estudos anteriores. Yi et al. (2004) verificaram que a profundidade do disco de Secchi em áreas com tanques-rede, era inferior comparativamente às águas abertas. As medidas registradas foram de $32,0 \pm 4,6 \text{ cm}$; $30,8 \pm 3,6 \text{ cm}$ e $30,9 \pm 3,5 \text{ cm}$, enquanto em águas abertas a transparência foi de $42,3 \pm 9,5 \text{ cm}$. Os autores relataram que essa diminuição,

provavelmente ocorreu devido à adição de alimentos e resíduos da piscicultura. Alves e Baccarin (2006) observaram diminuição da transparência em ponto amostral próximo ao trapiche utilizado pela piscicultura no reservatório de Nova Avanhandava, no rio Tietê/SP. Por outro lado, não foram observados valores de transparência menores na piscicultura 1, comparativamente ao controle 1. Vários fatores podem ter contribuído para isso, tais como a diluição dos resíduos piscícolas, propiciada pelo pequeno volume ocupado pelo empreendimento ($1.500,00 \text{ m}^3$) em relação ao volume total da baía ($4.081.090,00 \text{ m}^3$), a maior conexão da baía controle com o canal principal, o que provavelmente resulta em maior turbulência nessa área, e o horário das coletas.

Não foi verificado o aumento de NOT e PT nas áreas com piscicultura, sendo que no controle 2 foram observadas as maiores concentrações médias dessas variáveis. Esse resultado, somado ao fato de não ter sido verificado o aumento de clorofila *a* nas áreas com piscicultura, sugere que essa atividade no reservatório de Chavantes, no atual estágio de desenvolvimento, não tem contribuído para o aumento da produtividade primária. Por outro lado, essa constatação indica que ocorreu o carreamento de nutrientes das áreas adjacentes, as quais são compostas por pastagem sem mata ciliar, demonstrando a importância da implementação de medidas de redução dos impactos provenientes da agropecuária, atividade predominante nessa região. Bristow et al., (2008), em pesquisa em criação de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss* Wabamun), em Ontário, Canadá, concluíram que no lago com tanques-rede, no qual havia evidências de não ocorrer mistura de toda a coluna d'água, o OD no hipolímnio foi 255 % maior e o carbono e a clorofila *a* no epilímnio foram, respectivamente, 64% e 85% menores comparativamente a um lago fertilizado com PT mineral. A fertilização com PT mineral simula uma situação que decorre da lixiviação de fertilizantes das áreas agrícolas.

Outros pesquisadores também não verificaram aumento de nutrientes provenientes da piscicultura, como por exemplo Simões et al. (2007; 2008), em rios receptores de efluentes de piscicultura em viveiros escavados, na mesma região do presente estudo, e Kaggwa et al. (2010), em pequenos reservatórios no Kenya, África, com empreendimentos de tanques-rede de escala familiar. Esses últimos autores afirmaram que apesar da entrada de fósforo, procedente da

piscicultura, não foram observadas diferenças significativas entre áreas com essa atividade e áreas abertas, provavelmente, devido a fatores tais como o aumento de fluxo da água na estação chuvosa, o que promoveu a diluição e dispersão dos resíduos aquícolas, e os peixes nativos que se alimentam da ração não consumida. Uma revisão científica realizada no Canadá constatou que a elevação na concentração de PT em áreas com tanques-rede foi observada apenas em ambientes rasos com pouca circulação, enquanto, em locais mais profundos e com circulação adequada, não foram relatadas mudanças detectáveis (PODEMSKI; BLANCHFIELD, 2006). Ressalte-se que a determinação da série de fósforo e de nitrogênio é mais adequada para a verificação do aumento de nutrientes decorrentes da piscicultura.

Além disto, existem estudos que demonstram que os nutrientes liberados no meio aquático pela piscicultura, provavelmente, são aproveitados pela biota residente em áreas próximas, o que diminui os efeitos da eutrofização artificial (BRISTOW et al., 2008; BUENO et al., 2008; CARVALHO; RAMOS, 2010; RENSEL; FORSTER, 2007). De acordo com Bristow et al. (2008), a fração de fósforo proveniente de fezes e de alimentos da piscicultura é orgânica, o que a torna diretamente disponível para o consumo pelo bentos e pela população natural de peixes, dessa forma limitando a quantidade de fósforo disponível para o aumento da produtividade primária pelo fitoplâncton. Bueno et al. (2008), em pesquisa com pacus criados em tanques-rede no reservatório de Itaipu, concluíram que não houve diferença no índice de estado trófico (IET), com base na concentração de fósforo total, em diferentes distâncias da linha de criação de peixes (de até 150 m), devido à capacidade de a biocenose local absorver e depurar o aporte deste nutriente. Os autores sugerem a biomanipulação do fósforo do reservatório por meio da criação de peixes em tanques-rede. Zanatta et al. (2010), comparando áreas com piscicultura de pequena escala comercial (30 tanques-rede de 18 m³) e sem piscicultura no reservatório de Jurumirim, a montante de Chavantes, não verificaram diferenças entre os níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e a maioria das variáveis limnológicas avaliadas, à exceção da matéria suspensa, a qual foi maior na área de tanques-rede. Os autores afirmaram que esse resultado provavelmente foi decorrente do curto tempo do estudo (um ano).

Contudo, é importante salientar que o enriquecimento com nitrogênio e fósforo tem sido observado por diversos autores em áreas com tanques-rede. Yi et al. (2004) observaram uma tendência de aumento nas concentrações de PT nas amostras de água na saída dos tanques-rede. Guo e Li (2003) verificaram o aumento de nutrientes em policultivo em tanques-rede instalados em lago raso (Lago Niushanhu, Rio Yangtze, China) com tempo de residência de três anos, sendo os peixes alimentados com ração formulada, peixes forrageiros e grama. Ambos os trabalhos indicaram que a alimentação com baixa eficiência alimentar aumenta a carga de nutrientes que é lançada no ambiente. Bristow et al. (2008) relataram que houve aumento nas concentrações de PT no hipolímnio de lago com piscicultura em tanques-rede. Também Santos et al. (2009) observaram aumento de fósforo em locais próximos aos tanques-rede, no reservatório de Furnas, MG, Brasil.

Os valores das variáveis limnológicas de áreas com e sem piscicultura foram próximos entre si e não foram verificadas alterações progressivas no decorrer do período de análise. Além disso, observou-se que nas áreas com piscicultura mantiveram-se concentrações baixas de clorofila *a* e altas de OD. Esse fato provavelmente se justifica pela resiliência do ambiente avaliado, associada ao curto espaço de tempo de implantação da atividade, do pequeno volume ocupado pelos empreendimentos e das trocas de água entre essas áreas e o canal principal do reservatório. No entanto, houve indícios de alterações ambientais, embora de pequena magnitude, que precisam de avaliações em longo prazo.

O Índice de Estado Trófico de Carlson diferenciou as áreas com e sem piscicultura apenas quando calculado com base na transparência. No entanto, o estudo demonstrou que essa variável não deve ser considerada como indicativo do aumento de produtividade primária nesse ambiente.

De uma maneira geral, os valores médios das variáveis limnológicas obtidas nas amostragens de superfície estavam dentro dos padrões desejáveis para a criação de peixes tropicais, à exceção da temperatura que nos meses mais frios ficou abaixo dos níveis sugeridos. Isso implica em cuidados no manejo da piscicultura, tais como evitar a manipulação dos peixes e reduzir o arraçoamento nos períodos mais frios. A manutenção das demais variáveis de acordo com

esses padrões é importante, tanto para o sucesso da piscicultura, quanto para a conservação de condições adequadas da água para as espécies nativas do reservatório.

Por outro lado, a implantação e a operação dos empreendimentos aquícolas deve ser regularizada junto aos órgãos competentes, os quais exigem a manutenção da qualidade da água dentro dos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357, de março de 2005. As concentrações de fósforo total e, em algumas coletas, a DBO, tanto nas pisciculturas, quanto nos controles estavam acima do limite determinado para ambientes lênticos de classe 2.

CONCLUSÕES

As características limnológicas das baías sob influência de piscicultura em tanques-rede sofreram alterações, demonstradas pela redução de OD, pH e transparência e pelo aumento de STD, turbidez e DBO. Essas modificações foram diferenciadas entre as duas pisciculturas avaliadas, sendo mais pronunciadas na piscicultura 2, em função da compartimentalização do reservatório, morfometria e estrutura térmica da baía, e, provavelmente, do porte e do manejo da piscicultura. As alterações observadas foram de pequena magnitude, necessitando de avaliações em longo prazo, considerando-se outros fatores que podem influenciar no aumento das condições de trofia, particularmente, características hidrodinâmicas e entrada de cargas da bacia hidrográfica, além da compartimentalização do reservatório.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da notável expansão da piscicultura em tanques-rede, associada ao aumento do consumo de peixes e à globalização, é impreterível o conhecimento, a prevenção e a mitigação dos potenciais impactos da atividade.

A definição da intensidade e do tempo que o recurso hídrico pode ser utilizado sem ser degradado pela piscicultura requer estudos envolvendo outros

compartimentos, comunidades (fitoplâncton, zooplâncton, zoobentos e peixes) e aspectos do reservatório, tais como: o acúmulo de nutrientes nos sedimentos, os fluxos energéticos, o aporte de cargas da bacia hidrográfica, as taxas de produtividade primária e, principalmente, os fatores hidrológicos. Também precisam ser avaliados os custos e benefícios socioeconômicos da implantação de tanques-rede em reservatórios.

Os resultados das pesquisas devem ser ajustados por meio de monitoramentos em longo prazo, considerando-se a localização dos empreendimentos e as condições ambientais do reservatório e da bacia de contribuição. Por outro lado, esses resultados deverão servir de subsídio para a implementação de políticas públicas de planejamento e gestão dos recursos hídricos para fins de piscicultura que também devem contemplar a capacitação dos piscicultores para o uso de boas práticas de manejo (BPMs) e a fiscalização efetiva dos empreendimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R.C.P.; BACCARIN, A.E. Efeito da produção de peixes em tanques-rede sobre a sedimentação de material em suspensão e de nutrientes no córrego da Arribada (UHE Nova Avanhandava, baixo rio Tietê, SP). In: Marcos Gomes Nogueira, Raul Henry e Adriana Jorcin (Org.) **Ecologia de Reservatórios: Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas em Cascata**. São Paulo: RIMA, p. 329-347, 2006.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Estudo Hidrológico do Reservatório de Chavantes. Nota Técnica nº 191/2007/SOC-ANA.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. n.20. Washington: APHA: AWWA, 1998.

AYROZA, D.M.M.R; FURLANETO, F.P.B; AYROZA, L.M.S. **Regularização dos projetos de tanques-rede em águas públicas continentais de domínio da União no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesca, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, 2006. 32 p.

BACCARIN, A.E; CAMARGO, A.F.M. Characterization and Evaluation of the Impact of Feed Management on the Effluents of Nile Tilapia (*Oreochromis*

niloticus). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.48, n.1, p.81-90, jan., 2005.

BARTRAM, J.; CARMICHAEL, W. W.; CHORUS, I.; JONES, G. et al.. Introduction. In: CHORUS, I. ; BARTRAM, J. (Ed.). **Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring, and Management**. Londres: E & FN Spon, p.12- 24, 1999.

BEVERIDGE, M.C.M. **Cage aquaculture**. 3th. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd. 2004. 376 p.

BOEHRER B, SCHULTZE M. Density Stratification and Stability. In: **Encyclopedia of Inland Waters**. Oxford: Academic Press, p. 583-593, 2009.

BOYD, C.E.; QUEIROZ, J.F. Aquaculture pond effluent management. **Aquaculture Asia**, v. 2, n. 2, p. 43-46, apr./jun., 1997.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura – MPA. **Legislação**. Disponível em: <http://www.presidencia.gov.br/estrutura_presidencia/seap/legislacao/> Acesso em: 11 dez. 2009.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura – MPA. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura 2010**. Disponível em: <<http://www.mpa.gov.br/index.php/topicos/300-boletim-estatistico-da-pesca-e-aquicultura-2010>>. Acesso em: 24 jan. 2011.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura – MPA. **Sistema de Informações das Autorizações de Uso das Águas de Domínio da União para fins de Aquicultura - SINAU**. Disponível em: <<http://www.presidencia.gov.br/sinau>>. Acesso em: 02 dez. 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **CONAMA**. Conselho Nacional do meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 274/2000. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 24 jan. 2010

BRISTOW, C. E.; MORIN A.; HESSLEIN R.H.; et al.. Phosphorus budget and productivity of an experimental lake during the initial three years of cage aquaculture. *Can. J. Fish. Aquaculture Sci.* n.65 (11), p.2485-2495, 2008.

BUENO, G.W. et al. Estado trófico e bioacumulação do fósforo total no cultivo de peixes em tanques peixes na área aquícola do reservatório de Itaipu. **Acta Sci. Biol. Sci**, v. 30, n. 3, p. 237-243, 2008.

BUREAU, D.P.; C.Y.CHO. Phosphorus utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Estimation of dissolved phosphorus output. **Aquaculture**, n.179, p.127-140, 1999.

BUREAU, D.P. Factors affecting metabolic waste outputs in fish. In: CRUZ SUÁREZ, L.E.; RICQUE MARIE, D.; NIETO LOPEZ, M.G. et al. **Avances em Nutrición Acuicola**. VII SIMPOSIUM INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN ACUÍCOLA. Hermosillo, Sonora, México, p.16-19, nov, 2004.

CANTER-LUND, H., AND J. W. G. LUND. 1995. **Freshwater algae**: Their microscopic world explored. Biopress Ltd., Bristol. 360 p.

CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. **Limnol. Oceanogr.**, March, n. 22(2), p. 361-369, 1977

CARVALHO, E. D. Avaliação dos impactos da piscicultura em tanques-rede nas represas dos grandes tributários do Alto Paraná (Tietê e Paranapanema): o pescado, a ictiofauna agregada e as condições limnológicas. Relatório FAPESP. 2006.

CARVALHO, E. D.; RAMOS I.P. A aquicultura em grandes represas brasileiras: interfaces ambientais, socioeconômicas e sustentabilidade. Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia. n. 38(1), 2010. Disponível em: <<http://www.sblimno.Org.br/boletim/artigos/abril-de-2010-no-381/43-artigos-de-formacao>>. Acesso em: 07 dez. 2010.

CASTAGNOLLI, N. Estado da arte da aqüicultura brasileira. In: CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C.; FRACALOSSI, D.M. et al. **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: TecArt, p. 1-6, 2004.

CETESB. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo, 2005. São Paulo: CETESB, 2006. 2 v. (Série Relatórios / Secretaria de Estado do Meio Ambiente)

CIIAGRO. **Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas**. CIIAGRO ONLINE. 2006. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Listagens/Resenha/LResenhaLocal.asp>>. Acesso em: 20 dez. 2007.

COLT, J.; MONTGOMERY J. M. Aquaculture production systems. **Journal of Animal Science**. v. 69, p. 4183-4192, 1991.

CBH-MP - COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO PARANAPANEMA. **Plano de Bacia do Alto Paranapanema**. Lins: CETEC, 2005. Disponibilizado em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 jun. 2006.

CORNEL, G.E.; WHORISKEY, F.G.. The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediments of Lac du Passage, **Aquaculture**, Quebec, n. 109, p.101-107, 1993.

DEGEFU et al. Influence of fish cage farming on water quality and plankton in fish ponds: A case study in the Rift Valley and North Shoa reservoirs, Ethiopia. **Aquaculture**, n. 316, p.129-135, 2011.

DEMIR N.; KIRKAGAC M.U.; PULATSÜ S. et al. Influence of Trout Cage Culture on Water Quality, Plankton and Benthos in an Anatolian Dam Lake. **The Israeli Journal of Aquaculture** – Bamidgeh, n. 53(3-4), p.115-127, 2001.

DILLON, P. J.; RIGLER, F.H. 1974. A test of a simple nutrient budget model prediction the phosphorus concentration in lake water. **J. Fish. Res. Board Can.** 31, 1771-1778.

DILLON, P.J. & RIGLER, F.H. A simple method for predicting the carrying capacity of lake for development, based on lake trophic status. **J. Fish. Res. Board of Canada**, v. 32, p. 1519- 1531, 1975.

DUKE ENERGY INTERNACIONAL GERAÇÃO PARANAPANEMA. Plano de uso e ocupação do reservatório da UHE de Chavantes. 119p. 2002.

DUKE ENERGY INTERNACIONAL GERAÇÃO PARANAPANEMA. Relatório para Licenciamento Ambiental: UHE Chavantes. CD. Freire Consultoria Ambiental. 2002.

DUKE ENERGY INTERNACIONAL GERAÇÃO PARANAPANEMA. **Peixes do Rio Paranapanema**. São Paulo: Horizonte Geográfico, 2003. 112 p.

DUKE ENERGY INTERNACIONAL GERAÇÃO PARANAPANEMA. **Chavantes**. Disponível em <<http://www.duke-energy.com.br/PT/Usinas/index.asp>>. Acesso: 02 jan. 2006.

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

FANTIN-CRUZ, I.; LOVERDE-OLIVEIRA, S.; GIRARD, P. Caracterização morfológica e suas implicações na limnologia de lagoas do Pantanal Norte. **Acta Sci. Biol. Sci.**, v. 30, n. 2, p. 133-140, 2008.

FURLANETO, F. de P.B; AYROZA, D.M.M. de R; AYROZA, L.M. da S. Análise econômica da produção de tilápia (*Oreochromis spp.*) em tanques-rede, ciclo de verão, região do médio Paranapanema, estado de São Paulo, 2009. **Informações Econômicas**, v.40, n.4, abril, p. 5 - 11, 2010.

GUO, L.; LI, Z. Effects of nitrogen and phosphorus from fish cage-culture on the communities of a shallow lake in middle Yangtze River basin of china. **Aquaculture**, n. 226, p. 201-212, 2003.

HALWART, M.; SOTO, D.; ARTHUR, J.R. (eds.). **Cage aquaculture** – Regional reviews and global overview. FAO Fisheries Technical Paper. No. 498. Rome, FAO. 2007. 241p.

HENRY, R. The thermal structure of some lakes and reservoirs in Brazil. In: TUNDISI, J.G.; BICUDO, C.E.M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (Ed.). **Limnology in Brazil**, Rio de Janeiro: ABC/SBL, 1995.

HENRY, R. A variabilidade de alguns fatores físicos e químicos da água e implicações para amostragem: estudos de caso em quatro represas do Estado de São Paulo. In: BICUDO, C.E.M.; BICUDO, D. C. (Org.). **Amostragem em limnologia**, São Paulo: RIMA, p. 245-262, 2004.

HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A.F.M. Efficiency of aquatic macrophytes to treat Nile tilapia pond effluents. **Scientia Agrícola**, v.63, p.433-438, 2006.

JORCIN, A.; NOGUEIRA, M.G. Temporal and spatial patterns along the cascade of reservoirs in the Paranapanema River (SE Brazil) based on the characteristics of sediment and sediment-water interface. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**. n.10, p. 1-12, 2005.

KAGGWA, M.N; LITI D.M; SCHAGERL, M. Small tropical reservoirs and fish cage culture: a pilot study conducted in Machakos district, Kenya. **Aquacult. Int.** n. 19, p. 839–853, 2011.

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

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Econômica. México, 1948. 479 p.

KUBITZA, F. **Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões**. Jundiaí: Kubitza, 2003. 229p.

KUBITZA, F. **Tilápia**: tecnologia e planejamento na produção comercial. 1.ed. Jundiaí: F. Kubitza, 2000. 285p.

LEITÃO, M. F. F. et al. **Tratado de microbiologia**. São Paulo: Manole, 1988. 186p.

MAGALHÃES, V.F.; SOARES, R.M.; AZEVEDO, S.M.F.O. Microcystin contamination in fish from the Jacarepaguá Lagoon (Rio de Janeiro, Brasil): ecological implication and human health risk. **Toxicon**, Oxford, v.39, n.7, p.1077-1085, 2001.

MARTINS, D.P.; STEVAUX, J.C. Formas de leito e transporte de carga de fundo do Alto Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n. 2, p.43-50, 2005.

MEURER, M., Mapeamento Batimétrico de Reservatórios de Geração de Energia Elétrica, In: X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2003, Rio de Janeiro. **Anais....**Rio de Janeiro, 10 p, 2003.

MCKINDSEY C.W.; H. THETMEYER, T. LANDRY et al. Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. **Aquaculture**, n. 261, p.451-462, 2006.

MORRISON, D.F. **Multivariate Statistical Methods**. 3.ed., New York: McGraw-Hill Publishing Company, 1990. 495p, 1990.

NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R.; MARICATTO, F. E. Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir, São Paulo, Brazil. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**, n. 4, p.107-120, 1999.

NOGUEIRA, M.G. Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicators of environment compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. **Hydrobiologia**, n.431, p. 115-128, 2000.

NOGUEIRA, M. G. Zooplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. **Hydrobiologia**, n. 455, p.1-18, 2001.

NOGUEIRA, M.G.; JORCIN, A.; VIANNA, N.C. et al. Uma avaliação dos processos de eutrofização nos reservatórios em cascata do Rio Paranapanema (SE/S), Brasil. In: ALÍCIA F. CIRELLI, A.F.; MARQUISÁ, G.C. (Ed.). **El Agua em Iberoamérica: de la limnología a la gestión en Sudamérica**. Buenos Aires: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, p.91-106, 2002.

NOGUEIRA, M.G.; JORCIN, A.; VIANNA, N.C. et al. Reservatórios em cascata e os efeitos na limnologia e organização das comunidades bióticas (fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos): um estudo de caso no Rio Paranapanema. In: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R.; JORCIN, A. (Org.) **Ecologia de Reservatórios: Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas em Cascata**. São Paulo: RIMA, p. 83-125, 2006.

OLSEN, Y.; OLSEN L. M. Environmental Impact of Aquaculture on Coastal Planktonic Ecosystems. In: TSUKAMOTO, K.; KAWAMURA, T.; TAKEUCHI, T. et al. (Ed.). **Fisheries for Global Welfare and Environment**, 5th World Fisheries Congress, p.181–196, 2008.

ONO, E. A; KUBITZA, F. **Cultivo de peixes em tanques-rede**. 3 ed. rev. ampl. Jundiaí: E. A. Ono, 2003. 112 p.

PAGIORO, T.A.; ROBERTO, M.C.; THOMAZ, S.M. et al.. Zonação longitudinal das variáveis limnológicas em reservatórios. In: RODRIGUES, L.; THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A. et al. (Org.). **Biocenose em Reservatórios: Padrões Espaciais e Temporais**. São Carlos: RIMA, p.17-37, 2005a.

PAGIORO, T.A.; THOMAZ, S.M.; ROBERTO, M.C. Caracterização limnológica abiótica dos reservatórios. In: RODRIGUES, L.; THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A. et al. (Org.). **Biocenose em Reservatórios: Padrões Espaciais e Temporais**. São Carlos: RIMA, p.39-46, 2005b.

PERBICHE-NEVES, G; NOGUEIRA, M.G. Multi-dimensional effects on Cladoceran (Crustacea, Anomopoda) assemblages in two cascade reservoirs in Southeast Brazil. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**. n.15,: p.139–152, 2010.

PEZZATO, L. E.; MIRANDA, E. C.; BARROS, M. M. et al. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 4, p. 3361-3370, 2002.

PHILLIPS, M.J., CLARKE, R., MOWAT, A. Phosphorus leaching from Atlantic salmon diets. **Aquaculture. Eng.** n.12, p.47–54. 1993 .

PIEDRAHITA, R.H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. **Aquaculture.** n. 226, p. 35–44, 2003.

PILLAY, T.V.R. **Aquaculture and the environment**. 2th. Oxford: Blackwell Publishing, 2004. 94p.

PINTO-COELHO, R.M. et al. Origens e efeitos do aporte externo de nutrientes em um reservatório tropical de grande porte: Reservatório de São Simão (MG/GO). In: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R.; JORCIN, A. (Org.). **Ecologia de reservatórios: Impactos potenciais, Ações de manejo e Sistemas em Cascata**. São Carlos: Rima, p.127-164, 2006.

PODEMSKI, C.L., BLANCHFIELD, P.J. Overview of the environmental impacts of Canadian freshwater aquaculture. In: A scientific review of the potential environmental effects of aquaculture in aquatic ecosystems. Can. Tech. Rep. Fish. **Aquat. Sci.** n. 2450. p. 30–79, 2006.

PORTUGAL. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território. **Ecologia e gestão de albufeiras**. Disponível em; <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/pesca/resource/Ficheiros/gestao-recursos-aquicolas/estudo-estrategico/Ecologia-e-Gestao-Albufeiras.pdf/view> Acesso em: 11 mai 2007.

PROENÇA, C. E. M.; BITTENCOURT, P. R. L. **Manual de piscicultura tropical**. Brasília: Ibama, 1994. 196 p.

ROCHA, O. et al. Ecological theory applied to reservoir zooplankton. In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M. (ed.) **Theoretical reservoir ecology and its applications**. São Carlos, ABC/IIE/Backhuys. p. 457-476, 1999.

RENSEL, J.E., FORSTER, M.JR. **Beneficial environmental effects of marine finfish mariculture**. Office Oceanic and Atmospheric Research, NOAA National Marine Fisheries Service. Arlington: Rensel Associates Aquatic Sciences, 2007.

RODGHER et al. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê River (São Paulo, Brazil), Braz. **J. Biol.** 6 (4), p. 697–710, 2005.

SALAS, H. J.; MARTINO, P. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. **Wat. Res.**, n. 25, p. 341-350, 1991

SALAS, H. J.; MARTINO, P. **Metodologias simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales**. Programa Regional CEPIS/HPE/OPS. 2001. 63p.

SANT'ANNA NETO. J.L. **As chuvas no Estado de São Paulo**: variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica. São Paulo, 1995. 252 p. Tese (Doutorado). FFLCH, Universidade de São Paulo.

SANT'ANNA NETO. J.L. As chuvas no Estado de São Paulo: a variabilidade pluvial nos últimos 100 anos. In: SANT'ANNA NETO J.L e ZAVATINI, J.A (Ed.). **Variabilidade e Mudanças climáticas**: implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá: Eduem, p.95-120, 2000.

SANTOS, R.M.; ROCHA, G. S., ROCHA O. et al. Influence of net cage fish cultures on the diversity of the zooplankton community in the Furnas hydroelectric reservoir, Areado, MG, Brazil. **Aquaculture Research**, p.1-9, 2009.

SCHREIBER, E. et al. Estudos para elaboração de contratos na cadeia produtiva do pescado na região oeste do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PESCA, 13, 2003, Porto Seguro, BA. **Anais...** Porto Seguro, 2003. 1. CD-ROM.

SIMÕES F.S. et al. Avaliação do efeito da piscicultura em sistemas aquáticos em Assis e Cândido Mota, São Paulo, por indicador de qualidade da água e análise estatística multivariada. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p.1835-1841, 2007.

SIMÕES F.S. et al. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. **Ecological Indicators**, n. 8, p.476-484, 2008.

SOARES M. C. S. et al. The effects of water retention time and watershed features on the limnology of two tropical reservoirs in Brazil. **Lakes & Reservoirs. Research and Management**. n.13, p. 257-269, 2008.

SOARES, A.; MOZETO, A.A. Water Quality in the Tietê River Reservoirs (Billings, Barra Bonita, Bariri and Promissão, SP-Brazil) and Nutrient Fluxes across the

Sediment-Water Interface (Barra Bonita). **Acta Limnol. Bras.**, n.18(3), p.247-266, 2006

SPERLING, E.V. **Morfologia de lagos e represas**. Belo Horizonte: Segrac, 1999.

SPERLING, E.V.; DANTAS, A. P. Gerenciamento de reservatórios de abastecimento de água: influência de fatores físicos na determinação do grau de trofia. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre-RS. 27. Resumo completo. São Paulo: AIDIS, 2000.

STARLING F. et al. Contribution of omnivorous tilapia to eutrophication of a shallow tropical reservoir: evidence from a fish kill. **Freshwater Biology**, n. 47, p. 2443–2452, 2002.

STATSOFT, INC. STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. www.statsoft.com. 2005.

STEPHENS, W.; FARRIS, J.L. A biomonitoring approach to aquaculture effluent characterization in channel catfish fingerling production. **Aquaculture**, v.241, p.319-330, 2004.

STIGEBRANDT A, AURE J, ERVIK A, HANSEN PK (2004) Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming. III. A model for estimation of the holding capacity in the MOM system (Modelling – Ongrowing fish farm – Monitoring). *Aquaculture*, 234, 239-261.

TACON, A.G.J.; FORSTER, I.P. Aquafeeds and the environment: policy implications. **Aquaculture**, v. 226, p. 181–189, 2003.

TACON, A.G.J.; HALWART, M. Cage aquaculture: a global overview. IN M. HALWART, M.; SOTO, D.; ARTHUR, J.R. (Ed.). **Cage aquaculture** - Regional reviews and global overview, p. 1–16. FAO Fisheries Technical Paper. n. 498. Rome, FAO. 2007. 241p.

THOMAZ, S. M.; ROBERTO, M. C.; BINI, L. M. Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: VAZZOLER, A. E. A. M.; AGOSTINHO, A.A.; HAHN, N. S. (Ed.). **A planície de inundação do alto rio Paraná**: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM, p.73-102, 1997.

THORNTON, K. W.; KIMMEL, B.L.; PAYNE, E. F. **Reservoir Limnology: ecological perspectives**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 246p.

TOLEDO, A. et al. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: XII Congresso Brasileiro e Engenharia Sanitária, 1983. Camboriú: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. **Anais...** Camboriú, 34p, 1983.

TOVAR, A. et al. Environmental impacts of intensive aquaculture in marine waters. **Water Resource**, n.34 (1), p. 334-342, 2000.

TSUKAMOTO, R.Y.; TAKAHASHI N.S. Cianobactérias + Civilização = Problemas para a Saúde, a Aqüicultura e a Natureza. **Panorama da Aqüicultura**, julho/agosto, 2007.

TUNDISI, J.G. Distribuição espacial, seqüência temporal e ciclo sazonal do fitoplâncton em represas: fatores limitantes e controladores. **Rev. Brasil. Biol.**, 50: 937-955, 1990.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; CALIJURI, M.C. Limnology and management of reservoirs in Brazil. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J.G.; DUNCAN, A. (Ed.) **Comparative reservoir limnology and water quality management**. Dordrecht: Kluwer. p. 25-55, 1993.

TUNDISI, J.G. Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R.(Ed.). **Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais**. Botucatu: FUNDIBIO: FAPESP, p.21-38, 1999.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M.; ROCHA, O. Limnologia de águas interiores. Impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Coord.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, p. 153-192, 2002.

TUNDISI, J.G. Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios: estudos de caso e perspectivas. In: Marcos Gomes Nogueira, Raul Henry e Adriana Jorcin (Org.). **Ecologia de Reservatórios: Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas em Cascata**. São Paulo: RIMA, p. 1-21, 2005.

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.** 68 (Suppl. 4), p.1079–98, 2008.

VALÉRIO, A.M., STECH, J.L., KAMPEL, M. Compartimentação do Reservatório de Manso, MT, Brasil. **Acta Limnol. Bras.**, vol. 21, no. 3, p. 293-298, 2009.

VEENSTRA, J. S.; NOLEN, J. CARROLL et al. Impact of net pen aquaculture on lake water quality. **Water Sci. Technol.** n. 47(12); p. 293-300, 2003.

VERMULM, J.R., H. e GIAMAS, M.T.D. Levantamento da pesca profissional continental, no Estado de São Paulo, em 2003. Dados preliminares: Bacias dos Rios Paranapanema, Paraná e Grande. Sér. Relat. Téc., São Paulo, n. 23, p.1-10, 2006.

VINATEA-ARANA, L. **Princípios químicos da qualidade da água em aquicultura**: uma revisão para peixes e camarões. Marlene A. Coelho (Trad). 2 ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2004. 231 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos** (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias v.1.). 4 ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2005.452p.

WANG, G. Influences of Aquiculture on Ecological Environment. **International Journal of Biology**. v. 2, n. 2, jul., p. 158-164, 2010.

WEBER-SCANNELL P.K.; DUFFY L.K. Effects of Total Dissolved Solids on Aquatic Organisms: A Review of Literature and Recommendation for Salmonid Species. **American Journal of Environmental Sciences**. n. 3 (1), p. 1-6, 2007.

YI, Y. et al. Environmental impacts of cage culture for catfish in Hongngu, Vietnam. In HARRIS, R.; COURTERI, E. (Ed.)Twenty-first annual technical report. Oregon State University, Oregon, USA: **Aquaculture CRSP**, p.157-169, 2004.

YOUNG, W.F. et al. Taste and odour threshold concentrations of potential potable water contaminants. **Water Research**, v. 30, n. 2, p. 331-340, 1986.

ZANATTA, A.S.; PERBICHE-NEVES G.; VENTURA R. et al. Effects of a small fish cage farm on zooplankton assemblages (Cladocera and Copepoda: Crustacea) in a sub-tropical reservoir (SE Brazil). **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**. n.5(4), p.530-539, 2010.

ZAR, J.H. **Bioestatistical Analysis**. 4th. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 663p.

ZAT, M.; BENETTI, A.D. Remoção dos compostos odoríferos geosmina e 2-metilisoborneol de águas de abastecimento através de processos de aeração em cascata, dessorção por ar e nanofiltração. **Eng. Sanit. Ambient.** v.16, n.4, out/dez., p. 353-360, 2011.

ZHAO, M. et al. Effect of dietary cyanobacteria on growth and accumulation of microcystins in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 261, p. 960–966, 2006.